

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

HORNICKO – GEOLOGICKÁ FAKULTA

Katedra environmentálního inženýrství

**MOŽNOSTI APLIKACE SACÍHO BAGRU PŘI SÁNÍ,
VYFUKOVÁNÍ A TRANSPORTU SUCHÝCH, TEKUTÝCH A
NEBEZPEČNÝCH LÁTEK V PRAXI**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Adam Tkáč

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Bouchal, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA

FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Department of environmental engineering

**POSSIBILITIES OF A SUCTION DREDGER FOR
SUCKING, BLOWING AND TRANSPORTING DRY,
LIQUID AND HAZARDOUS SUBSTANCES IN PRACTICE**

DIPLOMA THESIS

Author:

Bc. Adam Tkáč

Supervisor:

Ing. Tomáš Bouchal, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Adam Tkáč

Studijní program:

N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor:

3904T005 Environmentální inženýrství

Téma:

**Možnosti aplikace sacího bagru při sání, vyfukování a transportu
suchých, tekutých a nebezpečných látek v praxi
Possibilities of a Suction Dredger for Sucking, Blowing and
Transporting Dry, Liquid and Hazardous Substances in Practice**

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce.
2. Popis společnosti.
3. Vytipované škodliviny v ŽP.
4. Technologie sacího bagru.
5. Aplikace sacího bagru v provozu.
6. Návrhy a doporučení.
7. Diskuze.
8. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. FEČKO, Peter. Popílký. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003. ISBN 8024803275.
2. VALLERO, Daniel. Fundamentals of air pollution. Fifth edition. Boston: Elsevier, 2014. ISBN 9780124017337.
3. BENCKO, Vladimír, Jaroslav LENER a Miroslav CIKRT. Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka. 2. přepracované a doplněné vyd., v Grada Publishing 1. vyd. Praha: Grada, 1995. ISBN 80-7169-150-X.
4. LAPČÍK, Vladimír. Výrobní a environmentální technologie [CD-ROM]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2009. ISBN 978-80-248-1960-0.
5. Atlas životního prostředí Moravskoslezského kraje. 2. vyd. Ostrava: Moravskoslezský kraj, Krajský úřad, 2014. ISBN 978-80-87503-37-9.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Bouchal, Ph.D.**

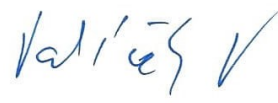
Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.
vedoucí institutu





doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D.
děkan fakulty

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30.4.2018


.....
Adam Tkáč

Poděkování:

Rád bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Tomášovi Bouchalovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady v průběhu zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval svým rodičům, že mi umožnili studovat a vždy mne během studia podporovali.

Anotace

Diplomová práce se zabývá analýzou a následným využitím hutních odprašků, které vznikají jako vedlejší produkt během výroby oceli a železa. V první části práce je stručně popsána společnost ArcelorMittal Ostrava a.s. a látky vznikající během hutní výroby, které zatěžují životní prostředí. První část rovněž popisuje technologii sacího bagru. Hlavní náplní praktické části je analýza vzorků odprašků. První analýzou bylo zjištěno přesné zastoupení prvků, které nalezneme ve vzorcích odprašků a pomocí druhé analýzy došlo ke stanovení specifického měrného povrchu těchto vzorků. Posledním úkolem bylo změřit měrnou hmotnost u obou odprašků. Součástí praktické části je také popis tkaninového filtru a elektrofiltru, odkud odprašky pocházejí a jejich následné využití.

Klíčová slova: Hutnictví, Znečištění, Emise, Odpad, Sací bagr, Odprašky

Summary

This diploma thesis deals with the analysis and subsequent utilization of the metallurgical dust, which are produced as a by-product during production of steel and iron. The first part of the thesis briefly describes the company ArcelorMittal Ostrava a.s., and substances arising during metallurgical production, which negatively affects the environment. The first part also describes the technology of the suction digger. The main topic of the practical part is the analysis of the dust samples. The first analysis revealed the exact representation of the elements found in the samples of the dust and the second specific analysis determined the specific surface area of these samples. The last task was to measure the specific gravity of the both dust. Part of the practical part is also a description of the fabric filter and the electrofilter, from where the dust comes from and its subsequent use.

Key words: Metallurgy, Pollution, Emission, Waste, Suction digger, Dust

OBSAH

1	Úvod a cíl práce.....	1
2	Popis společnosti	3
2.1	Geografie oblasti	4
2.2	Historie firmy	5
3	Vytipované škodliviny v žp	8
3.1	Látky znečišťující ovzduší	9
3.1.1	Kovy ovlivňující kvalitu životního prostředí.....	12
3.2	Kvalita ovzduší na Ostravsku.....	13
3.3	Vliv společnosti ArcelorMittal Ostrava na kvalitu ovzduší.....	14
3.4	Zdroje emisí a imisí.....	15
3.4.1	Rozdíl mezi emisí, imisí, depozicí a transmisí	16
3.4.2	Program zlepšování kvality ovzduší Moravskoslezského kraje	17
3.5	Hutní odpady a jejich rozdělení	18
3.5.1	Definice odpadů.....	19
3.5.2	Legislativa odpadového hospodářství.....	19
3.5.3	Rozdělení odpadů	19
4	Technologie sacího bagru	20
4.1	Definice strusek a jejich rozdělení	22
4.1.1	Vysokopecní struska	23
4.1.2	Ocelářenská struska	24
4.1.3	Využití vysokopecní a ocelářenské strusky	25
4.2	Definice popílků.....	26
4.3	Saze	27
5	Aplikace sacího bagru v provozu	28

5.1	Tkaninový filtr	28
5.2	Elektrofiltr	32
5.2.1	Emise tuhých znečišťujících látek	33
6	Metodika	35
6.1	Rentgenová fluorescence	35
6.1.1	Žihání	36
6.2	Sorpce plynu.....	37
6.2.1	Adsorpční izotermy.....	40
6.2.2	Langmuirova izoterma	40
6.2.3	BET izoterma (BET teorie).....	41
6.2.4	Metody měření adsorpčních izoterem.....	42
6.3	Měrná hmotnost-hustota.....	43
7	Postup měření.....	44
7.1	Stanovení vzorků XRF metodou.....	44
7.2	Stanovení měrného povrchu.....	47
7.3	Měrná hmotnost vzorků	48
8	Výsledky.....	49
9	Návrhy a doporučení – diskuze	53
10	Závěr	56
	Seznam použité literatury	57
	Seznam obrázků	67
	Seznam tabulek	69
	Seznam grafů.....	70
	Seznam použitých zkratk	71

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

Hutnický průmysl se řadí mezi největšího znečišťovatele životního prostředí. Svou výrobou se podílí na znečišťování ovzduší a na vzniku velkého množství odpadů. V minulosti byly většinou odpady ukládány na odvaly v blízkosti hutí, v současnosti je však většina hutních odpadů recyklována nebo využívána v jiných výrobních odvětvích. Mezi nejvyužívanější hutnický odpad patří vysokopecní strusky, které je možno využít jako inertní materiál s dobrými mechanickými vlastnostmi pro různé technické účely (stavební materiál, posypy komunikací). Přesto však v hutnictví najdeme i nebezpečné odpady, u kterých je jejich využití omezené. K takovému odpadu patří odprašky z aglomerace, které vznikají jako vedlejší produkt během výroby oceli a železa ve formě tuhých částic.

Mezi největší hutní komplex nejen v Moravskoslezském kraji, ale také v České republice patří ArcelorMittal Ostrava a.s. Společnost sídlící v Ostravě ročně vyrobí 2 miliony tun oceli a v roce 2015 společnost dokončila ekologizaci a modernizaci provozů. Bylo realizováno 13 ekologických projektů na aglomeracích za 2 miliardy korun, přičemž tyto veškeré náklady směřovaly do odprašení huti. Tyto investice do odprašení přinesly rapidní pokles látek podílejících se na znečištění ovzduší v kraji.

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části práce je v obecné rovině popsán podnik, dále škodliviny vznikající během výroby a technologie sacího bagru, který saje hutní odpad. Dílčí část je pak věnována vlivu společnosti na kvalitu ovzduší, hutním odpadům a jejich rozdělení a legislativě odpadového hospodářství.

Praktická část se zabývá analýzou dvou vzorků odprašků, které pocházejí ze zásobníku tkaninového filtru a elektrofiltru ze společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. Cílem analýzy bude stanovit přesný obsah látek v nich obsažených. Oba typy odprašků v areálu huti saje sací bagr značky GapVAX 9000, jenž si společnost pořídila v roce 2011. V návaznosti na tuto analýzu budou provedeny ještě další dvě analýzy, při kterých bude stanoven měrný povrch obou odprašků pomocí sorpce plynu a jejich měrná hmotnost.

Mezi hlavní cíle mé práce patří:

- Provést analýzu dvou vzorků odprašků, které pocházejí z tkaninového filtru a elektrofiltru společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s.
- Podrobit vzorky odprašků k další analýze ohledně stanovení specifického měrného povrchu.
- Zjistit měrnou hmotnost (hustotu) obou odprašků.
- Navrhnout vhodné využití odprašků.

Mezi dílčí cíle práce patří:

- Popsat tkaninový filtr a elektrofiltr, ze kterých odprašky pocházejí.
- Zjistit kolik tuhých znečišťujících látek za poslední roky bylo z huti vypuštěno do ovzduší.
- Poslední dílčí cíl diplomové práce se zabývá popsáním metodik.

Podstatou výstupu mé diplomové práce bude najít vhodné řešení využití odprašků, které sací bagr saje.

2 POPIS SPOLEČNOSTI

ArcelorMittal Ostrava a.s. patří mezi největší hutní podnik v rámci státu, který disponuje uzavřeným hutním cyklem a klasickou výrobní technologií [1].

Je součástí největší ocelářské a těžařské skupiny ArcelorMittal a.s. a je také největším výrobcem oceli v České republice. ArcelorMittal Ostrava a.s. prodává své výrobky do zhruba 40 zemí světa. Společnost ročně vyrobí okolo 2 milionů tun oceli, která najde uplatnění ve strojírenství a stavebnictví. Patří k největším výrobcům silničních svodidel a zaměstnavatelům v Česku, kdy průměrná mzda zaměstnanců v roce 2016 byla 34 615 korun. Firma ArcelorMittal Ostrava a.s. vyrábí ocel a železo v souladu s ekologickou legislativou. Došlo také ke snížení vlivu výroby na životní prostředí nad rámec všech požadavků evropské unie. V roce 2015 byla v ostravské huti dokončena rekordní ekologizace a modernizace provozů. Dohromady bylo postaveno 13 ekologických projektů na aglomeraci, koksovně a vysokých pecí s celkovou hodnotou ve výši 2 miliard korun. Všechny tyto náklady směřovaly do odprašení, které se stavěly za plného provozu a část nákladu připadla také na opatření ke snížení hlukové zátěže. Tkaninové filtry jsou tedy základem investic, které se řadí mezi BAT (nejlepší dostupné techniky) určené k odprašování hutního provozu [2]; [3].

Jediným akcionářem ArcelorMittalu Ostrava a.s. je ArcelorMittal Holdings A.G. ArcelorMittal Ostrava a.s. má spolu se svými dceřinými společnostmi přibližně 7 226 zaměstnanců [2].

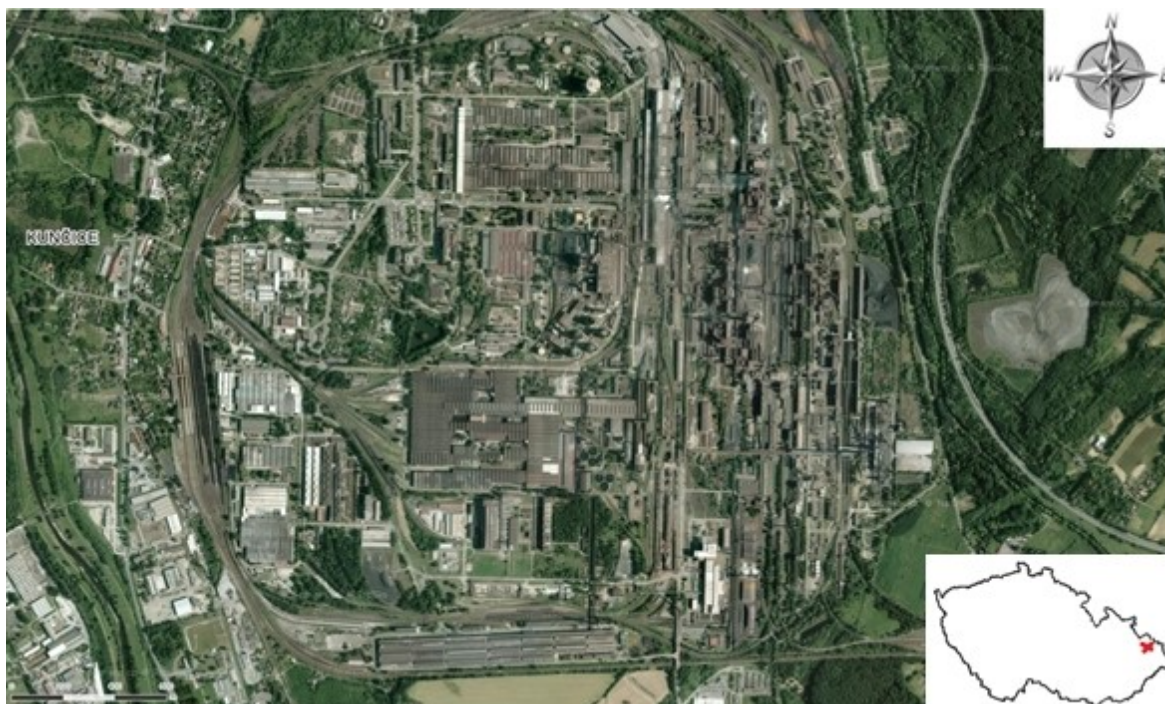
Mezi dceřiné společnosti patří [2]:

- ArcelorMittal Engineering and Consulting Ostrava s.r.o.
- ArcelorMittal Technotron s.r.o.
- ArcelorMittal Downstream Solutions
- ArcelorMittal Engineering Products Ostrava s.r.o.

ArcelorMittal Ostrava a.s. je rozvíjející se společností, která významně přispívá k zaměstnanosti v ostravském regionu. Snaží se o vybudování pozitivních vztahů jak se svými zaměstnanci, tak i s veřejností, ostravským regionem, Moravskoslezským krajem a celou Českou republikou [4].

2.1 Geografie oblasti

Firmu ArcelorMittal Ostrava a.s. najdeme ve městě Ostrava v Moravskoslezském kraji, přesněji v městském obvodu Slezská Ostrava v lokalitě Ostrava-Kunčice (viz **Obrázek 1**). Závod se nachází mezi dvěma vodními toky. Na západní straně jde o řeku Ostravici a na východní straně o řeku Lučinu, která je přítokem řeky Ostravice [2].

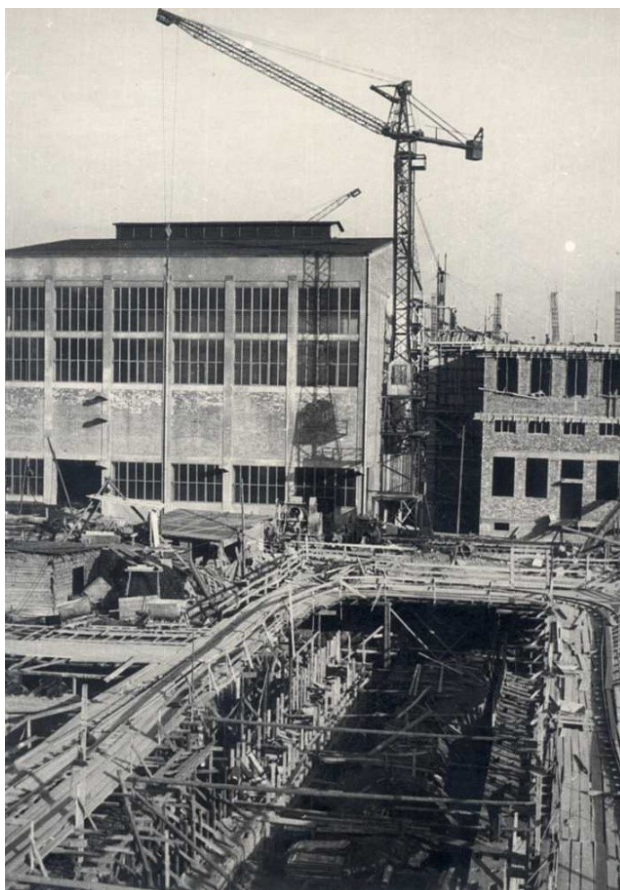


Obrázek 1: ArcelorMittal Ostrava a.s. [5]

2.2 Historie firmy

Historie největší hutní společnosti České republiky započala v roce 1942. Tehdejší Vítkovické železářny kvůli omezenému rozvoji vzhledem k umístění ve městě počaly výstavbu jižního závodu v Kunčicích. V roce 1947 až 1948 došlo k přijetí rozhodnutí o výstavbě hutního podniku, který byl ještě tehdy součástí Vítkovických železáren [6].

V roce 1951 byla zahájena výstavba budovy správního ředitelství a koksovny (viz **Obrázek 2**). Na konci prosince roku 1951 došlo k osamostatnění a vzniku Nové Huti Klementa Gottwalda se zkratkou NHKG. Druhého dne byla slavnostně zapálena první vysoká pec, ze které začátkem března roku 1952 vyteklo poprvé surové železo. Od této chvíle se začala psát historie jednoho z největších závodů nejen u nás, ale i ve světě s roční výrobní kapacitou 3,6 milionu tun oceli [6]; [7].



Obrázek 2: Výstavba koksovny v roce 1951 [7]

Historie Nové Huti Klementa Gottwalda je rozdělena do několik etap:

1. etapa - 1951 až 1958

Celý podnik byl tvořen pěti koksárenskými bateriemi, dvěma vysokými peci, čtyřmi siemens-martinskými a pěti hlubinnými peci, slévárnou a vodohospodářstvím. Od roku 1954 NHKG provozovala pouze jeden aglomerační provoz Sever, který byl vybaven třemi spékacími pásy [8].

2. etapa – 1958 až 1961

V této etapě došlo k rozšíření kapacit pro produkci základních surovin jako je ocel, surové železo a koks. Byla také postavena nová pásková trať a blokovna. Dále byl navýšen počet koksárenských baterií o čtyři, přibýlo pět sklopných pecí na výrobu oceli a dvě vysoké pece [7].

3. etapa – 1967 až 1985

V tom období se modernizovaly martinské pece na pece tandemové. V roce 1970 NHKG byla uvedena do provozu aglomerace Jih s dvěma dalšími spékacími pásy. V jižní části závodu došlo k výstavbě středojemné válcovny, velkokapacitní koksárenské baterie a centrální kyslíkárny [7].

4. etapa – rok 1989

V tomto roce došlo ke změně názvu společnosti. Nová Huť Klementa Gottwalda byla tak přejmenována pouze na Novou Huť, státní podnik. Byl také zajištěn přechod od odlévání oceli do ingotů k plynulému odlévání oceli [7].

5. etapa – 1993 až 1999

V těchto letech byla připojena zařízení pro plynulé odlévání. První zařízení bylo připojeno v prosinci roku 1993, druhé zařízení o čtyři roky později a poslední zařízení v srpnu roku 1999. Díky této změně došlo k větší výtěžnosti oceli a nižší energetické náročnosti [7].

Zlom nastal koncem ledna v roce 2003, když Lakshmi Mittal, jehož strategie je založena na modernizaci padajících oceláren a restrukturalizaci koupil v rámci privatizace Novou Huť a v polovině dubna téhož roku vznikla ISPAT Nová Huť, a.s. Na konci roku se opět změnil název, tentokrát na Mittal Steel Ostrava, a.s. V důsledku privatizace došlo k vytvoření přidružených či dceřiných podniků z provozů a závodů, mezi které patří JÄKL Karviná, a. s., Nová Huť Zábřeh, a. s. nebo Vysoké pece Ostrava, a. s. V červnu roku 2006 bylo oznámeno radou Arcelorů spojení s Mittal Steel a došlo tak ke vzniku světového gigantu ArcelorMittal Ostrava a.s. (viz **Obrázek 3**) [7].



Obrázek 3: Pohled na ArcelorMittal Ostrava a.s. [9]

3 VYTIPOVANÉ ŠKODLIVINY V ŽP

Hutnický průmysl už od svého samého počátku patří mezi největší znečišťovatele životního prostředí. Svou výrobou lze hutnictví umístit na první místo ve znečišťování ovzduší a vzniku značného množství odpadů [10].

Hutnictví je průmyslové odvětví, které je charakteristické vysokou materiálovou a energetickou náročností a s tím i související negativní dopady na životní prostředí. Hutnický průmysl projevující se výrobou železa a oceli je významným producentem velkého množství emisí znečišťujících látek, které jsou produkovány do ovzduší při výrobě železa ve vysokých pecích, ale také během výroby koksu v koksovnách [11].

Množství emisí je vyjadřováno v mg/hod, v mg/měsíc nebo v mg/rok. Látky, které jsou vypouštěny do atmosféry přímo ze zdrojů, nazýváme primárními polutanty. Pokud však dojde mezi primárními polutanty a atmosférou k chemickým reakcím, dochází ke vzniku nových polutantů, které nazýváme sekundárními polutanty [12]; [13].

Důležitou roli ovlivňující kvalitu ovzduší hrají největší průmyslová zařízení, která jsou zodpovědná za významný podíl na celkových emisích. Mezi nejčastější emise hutních podniků patří SO_2 , NO_x , CO, CO_2 , PAU a TZL (resp. PM). Velká pozornost by se měla věnovat i znečišťování těžkými a ostatními kovy, mezi které řadíme As, Hg, Cd, Cr, Pb. Tyto kovy způsobují kontaminaci okolní krajiny v blízkosti hutí, především půdního fondu. Mohou mít také další značné dopady na životní prostředí, včetně emisí do vody nebo spotřeby energie a produkce odpadů [11]; [14].

Proto jsou emise z průmyslových zařízení již několik let regulovány právními předpisy na úrovni EU. Od 70. let 20. století začaly postupně vznikat nejrůznější směrnice. K těm nejznámějším patří směrnice 2008/1/ES o integrované prevenci a omezování znečištění. IPPC má za úkol stanovit zásady pro povolování a regulaci zařízení na základě integrovaného přístupu a využití těch nejlepších dostupných technik (BAT) [14]; [15]; [16].

3.1 Látky znečišťující ovzduší

Mezi nejčastější emise z průmyslových zařízení, které se podílejí na znečišťování ovzduší, patří SO_2 , NO_x , CO, CO_2 , PAU a TZL (resp. PM) [17].

Tuhé znečišťující látky – TZL (angl. particulate matter – PM)

Tuhými znečišťujícími látkami nazýváme drobné částice různých velikostí, původu, složení a struktury, které také jinak označujeme jako PM – poletavý prach či prachové částice. Označení PM se užívá pro pojmenování mikročástic nejčastěji o velikosti PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a PM_1 [17]; [18].

PM_{10} značí poletavý prach do velikosti 10 μm (mikrometrů), $\text{PM}_{2,5}$ poletavý prach do velikosti 2,5 μm a PM_1 do 1 μm . Čím menší je průměr částic, tím déle zůstávají ve vzduchu a jsou nebezpečnější [18]; [19].

Vznikají jak přírodní (lesní požár, mořský aerosol, sopečná činnost), tak lidskou činností (spalovací procesy, otěry vozovek, brzd, pneumatik). Široká škála přírodních a antropogenních zdrojů emisí přispívá ke koncentracím PM v ovzduší, jako je větrný prach, mořské a biogenní aerosoly, silniční a terénní vozidla, stacionární spalovací procesy, průmyslové a stavební postupy [18]; [19].

PM mohou být částečně tvořeny minerály různého původu, jako je křemen, albit, mikroklin nebo muskovit. Částice pocházející z metalurgie obsahují minerály vzniklé při metalurgických procesech a minerály používané jako vstupní suroviny pro metalurgické procesy (hematit, magnetit). Součástí PM mohou být i kovy, které bývají ve stopových koncentracích přítomny ve fosilních palivech a biomase. Mezi nejčastější kovy patří V, Pb, Fe, Cr, Co, Mo, Ni, Cd, As, Sb a Zn. Spalovací a průmyslové procesy proto mohou být zdrojem těchto kovů v atmosféře. PM může také obsahovat značné množství PAH (polycyklické aromatické uhlovodíky) - organická sloučenina tvořená dvěma nebo více aromatickými kruhy [20]; [21]; [22]; [23].

Nejběžnější cestou vstupu poletavého prachu do organismu člověka jsou dýchací cesty. Horní cesty dýchací dokáží zachytit většinu částic, které jsou větší než 5 μm . Mezi ty nejnebezpečnější patří částice menší než 2,5 μm , které se dostávají až do plicních sklípků. Poletavý prach může způsobit kardiovaskulární onemocnění, nemoci dýchacích cest nebo také rakovinu [24].

Polycyklické aromatické uhlovodíky – PAU

PAU se řadí mezi tzv. perzistentní organické látky, které se označují zkratkou POPs (Persistent Organic Pollutants), a proto nepodléhají běžným biodegradačním procesům. PAU představují širokou škálu různých látek, které jsou tvořeny pouze uhlíkem a vodíkem ve formě dvou a více benzenových jader. Mezi tyto látky např. patří: benzo(a)pyren, naftalen, fluoren, antracen, fenantren, pyren, acenaftylen, dibenzo(a,h)antracen atd. PAU jsou málo rozpustné ve vodě, ale snadněji se rozpouštějí v olejích a tucích [17]; [25].

PAU se do ŽP prostředí uvolňují především při spalovacích procesech, ze silniční dopravy, při výrobě hliníku, během výroby koksu, cementu, asfaltu nebo při kouření. Mezi přírodní zdroje PAU patří vulkanická činnost a požáry. PAU jsou toxické pro celou řadu živých organismů včetně člověka. Jsou velmi stabilní, mají dráždivé účinky na kůži a oči a mohou také způsobit rakovinu nebo poruchy reprodukce u člověka a mutace u zvířat [26].

Oxid siřičitý – SO₂

Oxid siřičitý je bezbarvý, jedovatý plyn s charakteristickým zápachem, který je těžší než vzduch. SO₂ reaguje s vodíkem za vzniku sulfanu a vod, ale i s vodíkem za vzniku síry a vody. Dále reaguje s chlorofylem a narušuje tak fotosyntézu a také s uhlíkem za vzniku síry a oxidu uhličitého. Je dobře rozpustný ve vodě za vzniku tepla a kyseliny siřičité. Mezi antropogenní zdroje emisí SO₂ patří spalování fosilních paliv, doprava nebo výroba tepelné a elektrické energie. Mezi přírodní zdroje patří především sopečné plyny. Oxid siřičitý nachází uplatnění jako dezinfekční prostředek k dezinfekci sudů pro skladování zeleniny a ovoce, k ošetřování osiv proti plísním nebo slouží jako základní surovina pro výrobu kyseliny sírové [27].

Vystavení vyšším koncentracím SO₂ během krátké doby může způsobit těžké dýchací potíže (kašel, ztížení dechu), poškození očí nebo plicní edém. Opakovaná expozice může mít za následek závratě, bolesti hlavy či dokonce ztrátu čichu [28].

Oxidy dusíku – NO_x

Součástí oxidu dusíku jsou sloučeniny kyslíku a dusíku, k těm nejčastějším oxidům dusíku patří oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂). Mezi oxidy dusíku můžeme dále zařadit oxid dusičný (N₂O₅), oxid dusný (N₂O), oxid dusitý (N₂O₃) nebo oxid dusnatý (NO). Ke vzniku NO_x dochází při spalování fosilních paliv, během bouřek a při mikrobiální činnosti. Nacházejí uplatnění v chemickém průmyslu při syntéze laků, výbušnin, nátěrů či kyseliny dusičné. Součástí kyselých dešťů je společně s oxidy síry také zmíněný NO₂. Oxid dusičitý je mimo jiné významným činitelem při tvorbě přízemního ozonu a díky jeho působení společně s kyslíkem a těkavými organickými látkami vzniká zdraví škodlivý fotochemický smog. Co se týče lidského zdraví je NO₂ z oxidů dusíku nejrizikovější. Při respiraci se NO₂ dostává do plic a následně do krve, kde se dále přeměňuje na dusitany a dusičnany [29]; [30]; [31].

Oxid uhelnatý – CO

Oxid uhelnatý je jedna z nejrozšířenější látek podílející se na znečišťování ovzduší. Jedná se o bezbarvý, jedovatý a hořlavý plyn, který je bez chuti a zápachu. CO vzniká převážně při nedokonalém spalování materiálů obsahující uhlík, během fotochemických procesů, vulkanické činnosti nebo při lesních požárech. Je málo rozpustný ve vodě a bývá využíván k čištění surového niklu [18]; [32].

Při vdechnutí se oxid uhelnatý váže na hemoglobin a krev tak ztrácí schopnost přenášet kyslík do všech tkání těla. Jednoduše řečeno zabraňuje přenosu kyslíku v krvi. Dále působí také na srdce, nervový systém a při nízkých koncentracích může člověk pociťovat únavu či bolest na prsou. Při vyšších koncentracích může oxid uhelnatý způsobit závratě nebo poruchy vidění [33].

Oxid uhličitý – CO₂

Oxid uhličitý je nehořlavý, bezbarvý plyn, který je součástí zemské atmosféry. Je to plyn bez chuti a zápachu, avšak při vyšších koncentracích může mít v ústech nasládlou chuť. CO₂ je těžší jako vzduch a je dobře rozpustný ve vodě. Je běžnou součástí zemského povrchu (0,04 %). Mezi hlavní antropogenní zdroje CO₂ patří spalování uhlíkatých látek, doprava, výroba koksu, železa či oceli. Při vyšších koncentracích může oxid uhličitý způsobit závratě, následuje ztráta vědomí a smrt [34].

3.1.1 Kovy ovlivňující kvalitu životního prostředí

Mezi hlavní zdroje kontaminace životního prostředí patří rychlá produkce a spotřeba kovů a metaloidů. Hutnický průmysl zatěžuje životní prostředí těžkými a ostatními kovy, mezi které patří zejména As, Hg, Cd, Cr, Pb [10]; [35].

- **Arsen – As**

Arsen je metaloid tedy polokovový prvek, který se v přírodě vyskytuje převážně ve formě sulfidů. Mezi hlavní zdroje úniků arsenu patří hutní, rudní průmysl, vulkanická činnost či půdní eroze. Arsen je karcinogenní a mutagenní látkou a její účinky jsou známy již od Středověku. Může způsobit ekzémy, srdeční choroby nebo zvýšit výskyt potratů [35].

- **Rtut' – Hg**

Rtut' jako jediný kovový prvek je za normální teploty a tlaku kapalný a patří mezi vysoce toxickou a perzistentní látku. Hg se používá především jako náplň do teploměrů, barometrů a slouží také jako součást slitin (amalgámů). Do ŽP se dostává během své výroby a zpracování a při spalování fosilních paliv. Hlavními příznaky otravy jsou pálení na prsou, poruchy CNS, únava, bolesti hlavy, kašel, horečka a v nejhorším případě smrt [35]; [36].

- **Kadmium – Cd**

Kadmium je tažný, měkký, toxický kovový prvek, který je chemicky příbuzný zinku. Kadmium je vysoce bioakumulativní a slouží k ochraně ostatních kovů před korozí a je také součástí různých slitin. Antropogenními zdroji Cd je metalurgie, spalování fosilních paliv a odpadů. Akutní otrava Cd způsobí rozklad červených krvinek a selhání ledvin [35]; [37].

- **Chrom – Cr**

Chrom je přirozeně se vyskytující lesklý, tvrdý, ale zároveň křehký kov, který se používá k výrobě legovaných ocelí a ochraně povrchu kovových předmětů před korozí. Zdrojem emisí Cr je chemický, metalurgický průmysl a spalovny [35].

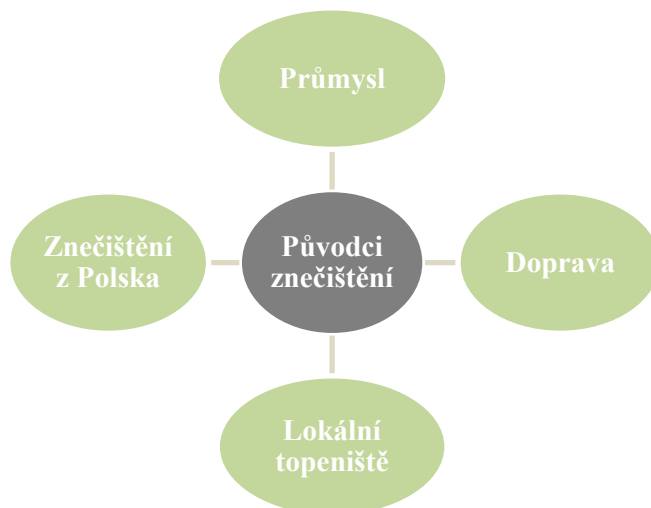
- **Olovo – Pb**

Olovo je toxický, kujný, lesklý, stříbrošedý těžký kov, který se přirozeně vyskytuje v zemské kůře. Uplatnění nachází při výrobě baterií, barviv, pájkových slitin nebo munice. Olovu je člověk vystaven za pomoci vdechování prachových částic. Negativně ovlivňuje nervovou soustavu a imunitní systém. Může dojít také ke křečím, případně i smrti [33]; [38].

3.2 Kvalita ovzduší na Ostravsku

V rámci České republiky je Moravskoslezský kraj nejvýznamnějším producentem emisí. Kvalita ovzduší v Moravskoslezském kraji patří také z hlediska celkového množství emisí k nejhorším ve střední Evropě. Zároveň s realizací opatření vedoucích ke snížení emisí v průmyslu dochází ke zvýšení podílu a dopadu malých zdrojů znečišťování ovzduší a dopravy na celkovou imisní situaci [39]; [40].

Špatná kvalita ovzduší na Ostravsku je zapříčiněna především průmyslovou výrobou, dopravou a také geomorfologickými podmínkami hornoslezské pánve, kde se Ostravsko nachází. Následkem je hromadění koncentrace znečišťujících látek během nepříznivých rozptylových podmínek hlavně v zimních měsících. Na **Obrázku 4** jsou zobrazeni hlavní původci znečištění ovzduší na Ostravsku [41].



Obrázek 4: Původci znečištění ovzduší na Ostravsku [41]

Kvalitu ovzduší na území České republiky hodnotí ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav). Pomocí tohoto hodnocení bývají sestavovány mapy průměrných koncentrací za určité časové období, a to podle zákona č. 201/2012., o ochraně ovzduší, který upravuje problematiku zabývající se znečišťováním ovzduší [39].

Hlavním cílem zákona je snaha o snížení množství emisí skleníkových plynů, a tím dosažení zlepšení kvality ovzduší. Podle zákona o ochraně ovzduší se také vymezují území, kde došlo ke zhoršení kvality ovzduší jako jsou zóny nebo aglomerace, na kterých došlo k většímu překročení imisního limitu pro jednu nebo více znečišťujících látek [42].

3.3 Vliv společnosti ArcelorMittal Ostrava na kvalitu ovzduší

Společnost díky neustálým modernizacím a investicím do ekologizace provozů patří k nejčistším a nejmodernějším hutím v Evropě. Příkladem může být, že jen sedm hutí v Evropě včetně ArcelorMittalu Ostrava a.s. vlastní tkaninový filtr na aglomeraci (viz **Obrázek 5**). V roce 2016 společnost uvedla do provozu tuto technologii v hodnotě 365 milionů korun, která bude největším přínosem pro ŽP ze 13 současných ekologických investic, které jsou zaměřeny na snížení emisí prachu (viz **kapitola 5.1**) [3]; [43].

V 80. letech 20. století spékací pásy aglomerace odprašovaly cyklóny. V 90. letech byly nahrazeny efektivnějšími elektrofiltry neboli elektrostatickými filtry, které v dnešní době posilují největší tkaninové filtry v celé huti. Díky modernizovaným elektrostatickým filtrům a obrovskému tkaninovému filtru drží huť emise na aglomeraci pod těmi nejpřísnějšími limity. Tkaninový filtr zlepšuje odprašování na třech spékacích pásách severní části aglomerace od roku 2011. Pro zbylé dva pásy jižní části aglomerace byly uvedeny do provozu stejně efektivní filtry. V současnosti se tak všechny spékací pásy aglomerace v ArcelorMittal Ostrava a.s. odprašují dvoustupňově (tj. dvěma typy filtrů zároveň) [43].

Díky tomu se tato společnost zařadí mezi integrované hutě, které mají na životní prostředí minimální vliv [43].



Obrázek 5: Nový tkaninový filtr na jižní části aglomerace [43]

3.4 Zdroje emisí a imisí

Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší zkráceně REZZO má za úkol evidovat zdroje produkující znečišťující látky do ovzduší, a to v souladu se zákonem o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. Zdroje jsou dále rozděleny na stacionární a mobilní, kdy REZZO 1-3 obsahuje stacionární zdroje a REZZO 4 mobilní zdroje [44].

REZZO 1 - velké stacionární zdroje znečišťování

Jde o stacionární zařízení sloužící ke spalování paliv o tepelném výkonu, který je vyšší než 5 MW a zařízení zvláště závažných technologických procesů. Patří sem převážně spalovny a velké elektrárny [44].

REZZO 2 - střední stacionární zdroje znečišťování

Zde řadíme stacionární zařízení ke spalování paliv, které mají tepelný výkon od 0,2 do 5 MW. Jsou to zařízení závažných technologických procesů, uhelné lomy nebo plochy na kterých je umožněno hoření [44].

REZZO 3 - malé stacionární zdroje znečišťování

Jedná se o stacionární zařízení určené ke spalování paliv o tepelném výkonu, který je nižší než 0,2 MW. Patří sem zařízení technologických procesů, nespádající do kategorie velkých a středních zdrojů dále skládky paliv, surovin, odpadů a zachycených exhalátů a jiné stavby, zařízení a činnosti, které se výrazně podílejí na znečišťování ovzduší. Jde především o plošné zdroje, které se sledují hromadně [44].

REZZO 4 - mobilní zdroje znečišťování

Jsou to pohyblivá zařízení se spalovacími či jinými motory, hlavně tedy silniční motorová vozidla, letadla, železniční vozidla a plavidla. Z CDV (centra dopravního výzkumu) lze získat informace o emisích z mobilních zdrojů [44].

3.4.1 Rozdíl mezi emisí, imisí, depozicí a transmisí

Emise jsou označeny jako látky znečišťující ovzduší vnášené do okolního prostředí přímo z jejího zdroje (např. komín, výfuk). Mohou být buď přírodního nebo antropogenního původu. Emise přírodního původu mohou vznikat během lesních požárů nebo sopečných výbuchů, kdy se do ovzduší uvolňuje obrovské množství CO_2 . Vznikají také při písečných bouřích, které mohou zavát prach ze Sahary až do Evropy. Mezi hlavní zdroje antropogenních emisí patří spalování fosilních paliv, průmyslová výroba či doprava [45]; [46].

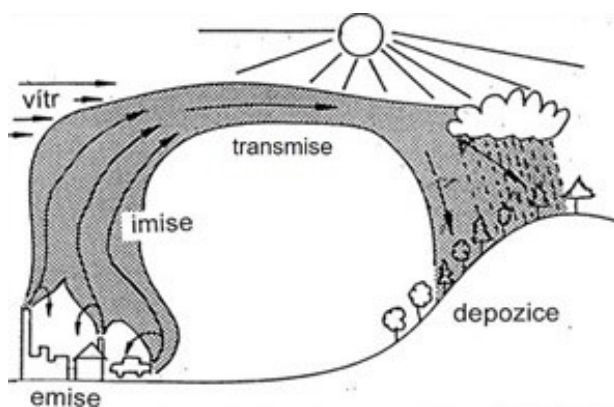
Emisní limit je nejvyšší přípustná hodnota koncentrace znečišťující látky, kterou může zdroj znečištění do prostředí vypustit [47].

Imise je emise, která se dostala do kontaktu s životním prostředím. Imise se může kumulovat v organismech, vodě a půdě. Jednotkou koncentrace je metr krychlový [45].

Imisní limit vyjadřuje hodnotu nejvyšší přípustné úrovně znečištění ovzduší [47].

Depozice definuje přenos znečišťujících látek, u kterých došlo k jejich setrvačnému či gravitačnímu odloučení z atmosféry na zemský povrch (viz **Obrázek 6**). Depozice se působením řady chemických a fyzikálních procesů a reakcí rozděluje na suchou a mokrou atmosférickou depozici. Suchá atmosférická depozice převládá poblíž emisních zdrojů a své atmosférické příměsi ukládá na povrch buď působením sedimentace, nebo v tuhé či plynné formě, tzv. tuhého spádu [45]; [48].

Transmise je označení pro látku znečišťující ovzduší po dobu, kdy se vyskytuje v atmosféře, kde prodělává různé chemické a fyzikální přeměny, přičemž nepůsobí na zemský povrch [45].



Obrázek 6: Schéma znečištění ovzduší [46]

3.4.2 Program zlepšování kvality ovzduší Moravskoslezského kraje

Pro zlepšování kvality ovzduší v Moravskoslezském kraji byly vydány dva strategické dokumenty, které jsou určené ke zlepšení kvality ovzduší. Prvním je Krajský program sloužící ke zlepšení kvality ovzduší v Moravskoslezském kraji a druhým je Krajský program určený ke snižování emisí Moravskoslezského kraje [49].

Hlavním cílem Krajského programu vedoucího ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje je zajistit na území Moravskoslezského kraje takovou kvalitu ovzduší, která splňuje imisní limity a národní emisní stopy a nadále tuto kvalitu ovzduší udržovat a zlepšovat. Krajský program obsahuje popis stavu kvality ovzduší v kraji s vymezením jednotlivých znečišťovatelů a způsob jakým se kvalita ovzduší v kraji sleduje. Krajský program ke zlepšení kvality ovzduší v Moravskoslezském kraji nabyl účinnosti 30. dubna 2009. Cílem Krajského programu snižování emisí Moravskoslezského kraje je omezení znečišťujících látek, u kterých došlo k překročení imisních limitů. Dále má za úkol stabilizovat emise znečišťujících látek, u kterých nedochází k překročování imisních limitů. Tento program určený ke snižování emisí v Moravskoslezském kraji nabyl účinnosti 14. srpna roku 2004 [49].

Ke zlepšení kvality ovzduší a snižování emisí v Moravskoslezském kraji je zapotřebí rozvíjet environmentálně příznivou infrastrukturu, ekologizovat dopravu a také zdroje podílející se na znečišťování ovzduší, omezit prašnost z plošných, liniových zdrojů a v průmyslových areálech dále zvýšit plynulost silniční dopravy, čistit povrchy komunikací, a především omezit automobilovou dopravu. Mezi další opatření vedoucí ke zlepšování ovzduší patří, instalace environmentálně šetrnějších kotlů v domácnostech, monitoring kvality ovzduší v kraji a omezování NO_x , SO_2 , z významných zdrojů emisí. Avšak nejproblematictějším polutantem v Moravskoslezském kraji jsou tuhé znečišťující látky, které na území kraje především při nepříznivých rozptylových podmínkách překračují nejvýše přípustné imisní koncentrace. Na jejich produkci se v Moravskoslezském kraji velkou měrou podílejí velké, a zvláště velké zdroje emisí, resp. REZZO 1 [49]; [50].

3.5 Hutní odpady a jejich rozdělení

Důležitý význam týkající se životního prostředí má také výskyt velkého množství odpadů různorodého chemického a fyzikálního složení. V minulosti se velká část odpadů ukládala na odvaly v blízkosti hutí bez ohledu na jejich charakter, složení a bez možností jejich dalšího budoucího selektivního využití. V současnosti je značné množství hutních odpadů recyklováno nebo využito v jiném výrobním odvětví (stavebnictví, hnojivo, posypový materiál, cement). Přesto existuje řada odpadů, které jsou těžko využitelná [10].

Hutní odpady se dělí na [10]:

- Velkoobjemové obsahující využitelnou železnou substancí (odprašky a kaly neobsahující nebezpečné látky, okuje, ocelářenské strusky),
- Velkoobjemové nemetalické odpady, kde patří slévárenské písky, struska z vysokých pecí nebo žáruvzdorné materiály,
- Odpady vznikající z energetiky (kotelní struska, popílek, škvára).

Mezi nebezpečné odpady obsahující toxické látky řadíme zejména:

- Kaly z čistíren odpadních vod,
- Odprašky a kaly z vysokých pecí a oceláren,
- Odpady vznikající během moření.

V minulosti byla hutnická výroba závislá na množství odebírané vody z povrchových zdrojů. V současné době však hutní podniky mají uzavřený cirkulační oběhový systém vodního hospodářství. Co se týče životního prostředí, tak není rozhodující množství odpadních vod z hutních podniků, ale množství těchto vod vypouštěné do recipientu a profily hodnocení ukazatelů znečištění. Velký problém z hlediska využití, resp. recyklace představují kaly z koncových čistíren odpadních vod v hutích. Takové kaly obsahují velké množství cizorodých látek, zejména těžkých kovů. Bývají však často využívány v zemědělství. Aby tyto kaly mohly být využity jako hnojiva, je nutná podrobná znalost obsažených cizorodých látek a dlouhodobá sledovanost z hlediska možného znečišťování vodních zdrojů a potravního řetězce [10].

Hutní podniky bývají také zdroji velké hlučnosti, především uvnitř hutních provozů. Na své blízké okolí působí jen v malé míře bez většího významu (válcovny, odfuky vysokých pecí atd.) [10].

3.5.1 Definice odpadů

V dnešní době je životní prostředí zatěžováno nadměrným množstvím odpadů všeho druhu. Za odpad se považuje to, co se v průběhu výrobního procesu nepřemění na užitnou hodnotu [51].

3.5.2 Legislativa odpadového hospodářství

Legislativní požadavky v oblasti odpadového hospodářství podléhají [52]:

- Zákonu č. 185/2001 Sb., o odpadech v platném znění.

„Opad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.“ [52]

K prováděcím předpisům tohoto zákona patří tyto vyhlášky:

- Vyhláška č. 93/2016 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů dále postup určený k zařazování odpadu podle Katalogu odpadů, a nakonec náležitosti návrhu obecního úřadu obce s rozšířenou působností spojené se zařízením odpadu dle Katalogu odpadů [53].
- Vyhláška č. 383/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti o nakládání s odpady [52].

3.5.3 Rozdělení odpadů

Odpady se dělí podle několika kritérií. Nejzásadnější je členění odpadů podle jejich nebezpečnosti vzhledem k životnímu prostředí. Odpady tedy dělíme podle jejich vlastností na ostatní (O) a nebezpečné (N) odpady [54].

Mezi ostatní odpady patří ty odpady, které nemají žádnou nebezpečnou vlastnost. Jsou to tedy všechny odpady, které nejsou nebezpečnými odpady. Nebezpečný odpad je takový odpad, který má jednu či více nebezpečných vlastností [55]; [56].

Podle původu vzniku dělíme odpady na [51]:

- Průmyslové odpady,
- Zemědělské odpady,
- Komunální odpady,
- Odpady ze zdravotnictví a veterinární péče,
- Jaderné odpady.

4 TECHNOLOGIE SACÍHO BAGRU

Od ledna roku 2011 celý areál ArcelorMittal Ostrava a.s. čistí zcela nový čistící vůz. Vůz s odborným názvem „sací bagr GapVAX 9000“ (viz **Obrázek 7**), který si můžeme představit jako pojízdný vysavač, si společnost pořídila za 10,5 milionů korun. Vozidlo má dvě unikátní vlastnosti. Mezi první vlastnost patří extrémně vysoký sací výkon a schopnost tak nasávat prašné a tekuté látky. Druhou vlastností sacího bagru je, že ho můžeme používat jak k čištění cest, tak k čištění prašných provozů, jako je třeba aglomerace. Taková to kombinace dělá z vozidla zcela unikátní zařízení [57].

Vůz je postaven na podvozku značky Mercedes. Délka jeho sacích trubic dosahuje až 300 metrů, které tak umožňují vysát tekuté i pevné nečistoty až z hloubky 30 metrů. Oproti ostatním čistícím vozům nerozmetává nečistoty z vozovky kartáčovými kotouči, ale všechny nečistoty nasává do sebe. Tento sací bagr je navíc univerzální a je ho možné využít takřka všude, např. k čištění nádrží, rybníků, ale i k bezprašné nakládce prašných materiálů. Své využití také najde v případě ekologické nehody, kdy je schopen odstranit všechnen materiál bez ohledu na fyzický stav. Je-li potřeba může být nasazen i na odsávání výbušných uhelných prachů. Rovněž může být využit během hloubení výkopů a rýh i k vyprošťování zasypaných osob. V areálu ArcelorMittal Ostrava a.s. je sací bagr využíván na sběr materiálů a nečistot z okolí dopravníků výtahů, skladových zásobníků, sazí, popílků, odprašků nebo na saní vysokopecní a ocelářské strusky [57].



Obrázek 7: Sací bagr GapVAX 9000 [58]

Technické parametry

- Extrémně vysoký sací výkon, který je dosažen díky kombinací podtlakové a pneumatické manipulační technologie,
- Je schopen nepřetržitě nasávat tekuté i prašné látky,
- Nerezová cisterna disponuje objemem 12 m³ pro kal a 4 m³ pro čistou vodu. Rychlost naplnění se pohybuje v rozmezí od 5 minut (voda) do 20 minut (kamení),
- Celková pracovní délka hadic je 100 až 300 m
- Disponuje také velmi výkonnou dmychadlovou vývěvou se sacím výkonem až 9 500 m³ vzduchu/hodinu,
- Jde o vysokotlaké čisticí zařízení s provozním tlakem 200 bar a s hydraulickým vyklápěním cisterny,
- Má také vibrátor pro snadnější vyprazdňování materiálu v nádrži a lištu [57].

4.1 Definice strusek a jejich rozdělení

Struska je hrubozrnný materiál černé barvy vyznačující se ostrými hranami a skelným leskem. Jedná se o fyzikálně-chemicky pozměněné hlušinové či nekovové složky vsázky redukčních a oxidačních pochodů, které mají různý obsah a formu železa a ostatních kovů. U strusek je také známo, že některé z nich mohou obsahovat nebezpečné toxické kovy, které mohou negativně ovlivnit životní prostředí [59]; [60].

Základní rozdělení strusek podle druhu výroby [61]:

- Vysokopecní,
- Ocelářenské.

Rozdělení strusek podle charakteru [61]:

- Zásadité strusky (CaO , MgO , FeO),
- Kyselé strusky (SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3),
- Neutrální strusky.

Rozdělení strusek podle chemického složení [61]:

- Silikátové strusky vyznačující se vysokým obsahem SiO_2 ,
- Fosfátové strusky obsahující P_2O_5 ,
- Strusky na bázi oxidů kovů, které jsou tvořeny různými směsí oxidů kovů.

Strusky dále můžeme rozdělit podle stupně stálosti na [62]:

- Nerozpadavé strusky,
- Strusky, které mají sklon k rozpadu,
- Rozpadavé strusky.

Podle rychlosti chlazení se strusky dělí na [62]:

- Přirozeně (pomalu) chlazené strusky,
- Uměle (rychle) chlazené strusky.

4.1.1 Vysokopecní struska

Během výroby železa musí vznikat struska jako vedlejší produkt celého procesu. Vysokopecní strusky, které vznikají při vysokopecní výrobě železa se liší v závislosti na druhu zpracovávaných surovin, typu vyráběné slitiny a palivu. Při řízeném spalování pevných paliv a odpadů může také docházet ke vzniku strusek. Struska by měla mít, pokud možno co nejméně zhutňovaného kovu. V případě, že struska obsahuje více než 10 % kovu je zapotřebí ji vrátit zpět do vsázky. Struska je složena především z CaO , MgO , Al_2O_3 , přičemž se vůbec neredukují. Oproti tomu SiO_2 se z malé části redukuje. Do strusky vstupují malá množství CaS , MnS , MnO , FeO a ostatních látek, které pozměňují fyzikálně-chemické vlastnosti strusek [61]; [63]; [64].

Struska vzniká při takové teplotě, kdy dochází k jasnému měknutí kovonosné vsázky. Prvotní (primární) struskou nazýváme takovou strusku, která se začíná právě tvořit. Taková struska vzniká za pomoci spékání částečně redukovaného aglomerátu a vyznačuje se velkým obsahem FeO . V průběhu zvyšování teploty dochází k rozpouštění oxidů (SiO_2 , MgO , Al_2O_3), zato obsahy FeO a MnO se působením redukčního uhlíku koksu snižují [65].

Konečná struska by měla mít takové chemické složení a fyzikální vlastnosti, aby došlo k co nejlepšímu odsíření surového železa a zabezpečení dokonalé redukce železa. Velmi důležitý je také vysoký stupeň redukce manganu z toho důvodu, aby mohla struska co nejlépe vytéct z pece [63].

Proces zpracování vysokopecních strusek

Množství vyrobené strusky je dáno hlavně kvalitou použité železné rudy a množstvím tavidel. K dosažení potřebné jakosti surového železa je zapotřebí, aby kvalita a množství vsázky byla co nejvíce stabilní a přesná. V minulosti strusky patřily k obtížnému odpadu, který se hromadil a nevyužíval. V současnosti je hlavním úkolem, aby došlo k co největšímu využití vysokopecní strusky, čehož bylo již v mnoha případech dosaženo. V dnešní době jsou používány tři procesy, které se při přípravě vysokopecní strusky využívají [62]:

- Granulace strusky,
- Zakládání strusky do jam,
- Peletizace strusky.

4.1.2 Ocelářenská struska

Ocelářenské strusky vznikají jako vedlejší produkt při výrobě oceli. Obsahují značné množství železa a zásaditých složek. Přesnější informace o složení ocelářenské strusky a vysokopecní strusky lze vyčíst z **Tabulky 1** [61].

Jako tavidlo během procesu tavení surového železa se využívá vápno, které reaguje se silikáty a oxidy železa. Surové železo je možné zpracovat buď v elektrických, tandemových či martinských pecích nebo v kyslíkových konvertorech. Ocelářenská struska má za úkol pokrývat souvislou vrstvou kovovou lázeň, ale také musí zajistit nezbytný přísun kyslíku, vytvořit příznivé podmínky pro přenos tepla a vázat na sebe zplodiny vznikající při rafinačních reakcích. Ocelářenská struska tedy obsahuje zplodiny oxidace, především příměs surového železa a ocelového odpadu dále také z nečistot, které byly přineseny vsázkou. Z jedné tuny vyrobené oceli získáme přibližně 150 kg ocelářenské strusky [60]; [63].

Proces zpracování ocelářenských strusek

Mezi nejstarší, ale dnes v některých závodech používanou metodu patří recirkulace ocelářenské strusky v procesu. To znamená její přidání nazpět do vsázky vysokých pecí. Platí zde ovšem určitá omezení jejího množství s ohledem na obsah fosforu a kovatost, které mohou vstoupit do oceli. Aby došlo k lepšímu využití strusky je zapotřebí ji tedy upravit na metalurgicky vhodné produkty, které jsou stanoveny danou zrnitostí a kvalitou. Struska určená k těmto účelům se proto nejčastěji zpracovává mechanickými způsoby, mezi které patří drcení, mletí či magnetická separace [62].

Tabulka 1: Chemické složení strusek [61]; [62]

Typ strusky	Obsah oxidů v %					
	MgO	MnO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO+Fe ₂ O ₃
Vysokopecní	10-14	0,5-2	35-38	6-9	34-38	0,5-1
Ocelářenská (uhlíkatá ocel)	5-15	3-8	35-60	2-9	9-20	15-30
Ocelářenská (legovaná ocel)	8-15	0,4-2	39-45	3-8	24-32	1-6

4.1.3 Využití vysokopecní a ocelářenské strusky

Uplatnění jak vysokopecní strusky, ale i ocelářenské strusky můžeme najít ve stavebnictví. Bývají využívány hlavně jako kamenivo do betonu nebo k výstavbě silnic. Vysokopecní struska nachází také využití při výrobě portlandského slinku nebo jako surovinová složka v keramickém průmyslu. Mezi velmi vhodný stavební materiál lze zařadit granulát vysokopecní strusky, který se vyznačuje dokonalou hydraulickou vlastností. Nejčastěji se přidává do strusko-alkalických betonů či cementů, přičemž k výrobě těchto cementů je možno použít jakoukoliv strusku. Různé druhy strusek se také využívají jako plnidla pálených cihlářských výrobků, protože příměsi strusek zvyšují odolnost proti větru, nárazu nebo tlaku [59]; [66]; [67]; [68].

Využití vysokopecní strusky

Vysokopecní strusku lze zpracovat na vysokopecní cement a struskovou vinu, které nacházejí uplatnění pro tepelnou izolaci, struskový štěrk, dlažební kostky nebo struskový písek [69].

Využití ocelářenské strusky

Ocelářenská struska se řadí mezi problematickou skupinu odpadů hutních podniků. V minulosti byla hojně využívána jako hnojivo a pro neutralizaci překyselených půd, ale kvůli příslušné legislativě se od tohoto využívání opustilo [69].

Ocelářenskou strusku lze v dnešní době využít jako plnivo do malt. Ocelářenská struska může být v určitých poměrech použita v maltových směsích jako plnivo spolu s přírodními kamenivy [70].

Využití strusek v zemědělství

V současné době se strusky jako hnojivo využívají jen málo. Hlavním důvodem je hlídání parametrů jednotlivých prvků, u kterých by mohlo dojít k jejich překročení stanovených limitů. Struska například dodává organickou hmotu do půdy, zlepšuje její strukturu nebo příznivě ovlivňuje její kyselost. Během používání jemně mletých strusek v zemědělství docházelo k lepším výnosům plodin, jelikož má struska příznivější účinky než vápno [71].

4.2 Definice popílků

Popílkem rozumíme nejmenší frakci zbytku ze spalování antracitu, černého a hnědého uhlí o zrnitosti 0–1 mm, který je zachycován v odlučovačích. Jde o heterogenní materiál, který má podobu velmi jemného prášku. Popílek je tvořen částicemi, které mají odlišné chemické, fyzikální, mineralogické, morfologické a technologické vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou určeny a ovlivněny především kvalitou a druhem spalovaného uhlí a technologií spalovacího procesu [72].

Emise popílků silně ovlivňují dýchací soustavu lidí a působí také negativně na ekosystémy. Spolu s popílkem jsou do prostředí vnášeny prvky, mezi které patří As, Hg, Cd, Cr, Ti, Fe, Co, Cu [72].

Vlastnosti popílků

Jsou charakteristické svými chemickými, fyzikálními, morfologickými vlastnostmi a mineralogickým a chemickým složením. K nejdůležitějším parametrům se řadí granulometrie, hustota, měrný povrch, obsah nespalitelného podílu dále zastoupení krystalické a amorfni fáze, a nakonec zastoupení majoritních a minoritních prvků [72].

Využití popílků

Nejvíce se popílků využívají ve stavebnictví, kde slouží k výrobě lehčených kameniv, suchých omítkových, betonových a dalších speciálních směsí pro výrobu cihel a keramiky. Popílků mohou také zvyšovat vodotěsnost a trvanlivost betonů či vylepšovat zpracovatelnost a čerpatelnost betonových směsí a snižovat nároky na energii během výpalu cihel. Své uplatnění nacházejí také v dolech, ve kterých slouží jako druhotná surovina v důlních technologiích. Popílek a popílkové stabilizátory mohou být použity i jako výplňový materiál prostoru po těžbě nerostných surovin a pro sanaci a rekultivaci postižených území [72]; [73]; [74].

4.3 Saze

Jedná se o tmavý prachový nános nespálených palivových zbytků, který je většinou složený z amorfního uhlíku. Dalo by se říct, že saze patří k nejrozšířenějšímu nanomateriálu, jehož agregáty se pohybují v rozměru od několika desítek až stovek nanometrů. Saze se shromažďují v automobilových výfucích a komínech [75].

Saze vznikají jako vedlejší produkt hoření uhlí, dieselových paliv nebo uhlovodíků. Jsou hojně využívány v tiskařských inkoustech, tonerech nebo v chemickém průmyslu. K nejvýraznějšímu využití sazí však patří výroba pneumatik, pásů a hadic v automobilovém průmyslu. Za vysoce nebezpečné jsou považovány saze z dieselových motorů, protože obsahují částice menší než pět mikrometrů, které nejsou vyfiltrovány v horních cestách dýchacích a mohou tak působit jako karcinogeny [75]; [76].

5 APLIKACE SACÍHO BAGRU V PROVOZU

V rámci řešení experimentální části diplomové práce byly vybrány dva typy odprašků, které sací bagr GapVAX 9000 v areálu huti saje. Jedná se o odprašky, které pocházejí jednak z *tkaninového filtru* a *elektrofiltru*. V následujících kapitolách jsou tyto filtry popsány včetně úniku emisí tuhých znečišťujících látek. V další části práce je popsán postup měření vzorků odprašků a jejich výsledné hodnoty.

5.1 Tkaninový filtr

Na jižní části aglomerace, kde se spéká koks, železná ruda, vápenec a další materiál, tkaninový filtr představuje tu nejlepší techniku na odprašování. Huť pomocí tkaninového filtru a elektrofiltru filtru snižuje své emise až o několik desítek procent. Dohromady dokáže zachytit dalších 94 tun prachu ročně spolu s nejmenšími prachovými částicemi, B(a)P a dioxiny. Filtr nechal postavit místní dodavatel, kterým je ostravská společnost Paul Wurth, společně ve spolupráci s ostatními lokálními subdodavateli, jako jsou Teplotechna Ostrava či Stamont [43].

Tkaninový filtr dokáže zachytit s více než 99 % účinností i ty nejmenší prachové částice a poradí si také s PAU včetně B(a)P a dioxinů, které sníží o více než 90 %. Filtr je velký jako třípatrový dům a jeho hlavním úkolem je, aby posílil odprašování spalín na dvou spékacích páslech menší, jižní části aglomerace. Tkaninový filtr disponuje technologií o vysoké efektivitě, která zaručuje neustálý provoz s pouhými 4 % celoročního kalendářního času určeného na údržbu [43].

V roce 2015 proběhla další investice ve výši 125 milionů korun, která řeší zachytávání prachu vznikající během vykládky různých materiálů. Prostor vykládky vagonů byl kompletně zakryt a prach je v současnosti odváděn do nových tkaninových filtrů. Zařízení na odprašení výklopníků odsává prach, který je zvržen vykládkou materiálu a odvádí ho do nově postaveného tkaninového filtru. Tkaninový filtr, jak již je zmíněno výše, představuje to nejlepší známé řešení odprašení, které dokáže zachytit ty nejmenší prachové částice TZL o velikosti PM₁₀, PM_{2,5} i PM₁ [77].

Provoz na aglomeraci požaduje pravidelné dodávky surovin, které se dále mísí a využívají se pro výrobu aglomerátu a surového železa. Železniční vagony přivážejí železnou rudu, koks, pelety, antracit a jiné sypké materiály z celého světa. Na každé

z aglomerací se za jednu hodinu průměrně vyloží přibližně deset vagonů, což umožní přemístění až 24 000 tun surovin denně. Výklopníky rud a uhlí mají za úkol celý vagón nadzvednout a poté vyprázdnit. V hutí je používán jak rotorový typ výklopníku, který vagón otočí, tak i sklopný. Sklopný výklopník umožní materiál z čela vagonu vysypat pouhým nahnutím vagonu. Odprášení se dočkaly oba typy výklopníků. V obou případech došlo k zakrytí a zachycení prachu a jeho odvedení do tkaninového filtru [78].

Na **Obrázku 8** je zobrazen čelní výklopník před investicí do tkaninového filtru.



Obrázek 8: Čelní výklopník před investicí [78]

Na **Obrázku 9** je zobrazen tkaninový filtr vybudovaný u čelního výklopníku.



Obrázek 9: Tkaninový filtr u výklopníku čelního po investici [78]

Další modernizace také proběhla u rotorového výklopníku, kde došlo opět k investici do tkaninového filtru (viz **Obrázek 10**).



Obrázek 10: Rotorový výklopník před investicí [78]

Na **Obrázku 11** je vidět hotový nový tkaninový filtr u rotorového výklopníku.



Obrázek 11: Tkaninový filtr u rotorového výklopníku po investici [78]

Vzhledem k tomu, že oba filtry jsou postavené poblíž výklopníků a kolejí, tak během rekonstrukce musel být provoz vagonů částečně omezen. V průběhu výstavby investice však odstávka nepřesáhla 840 hodin, tedy maximálně 18 dní provozu na každé ze dvou částí aglomerace [78].

Během roku 2015 se v huti postavilo hned několik nových tkaninových filtrů. Mezi nejvýznamnější patří tkaninový filtr pro dva spékací pásy na jižní části aglomerace. Tkaninový filtr, který stál 365 milionů korun zachytí takřka 100 tun prachu ročně. Zbylé tři spékací pásy na severní části aglomerace odprašuje už tkaninový filtr od roku 2011. Tento tkaninový filtr stál 1 miliardu korun a snížil emise prachu o neskutečných 270 tun ročně [79].

Spaliny pocházející z provozů jsou odsávány do tkaninového filtru, kde prochází přibližně desetitisíci tkaninových hadic (viz **Obrázek 12**), na které se zachycují prachové částice všech velikostí. Zaprášené hadice bývají pravidelně čištěny proudem vzduchu a vyfouknutý prach je dále dopravován do zásobníku. Komínem tak odchází kouř, který je zbavený prachových nečistot [79].

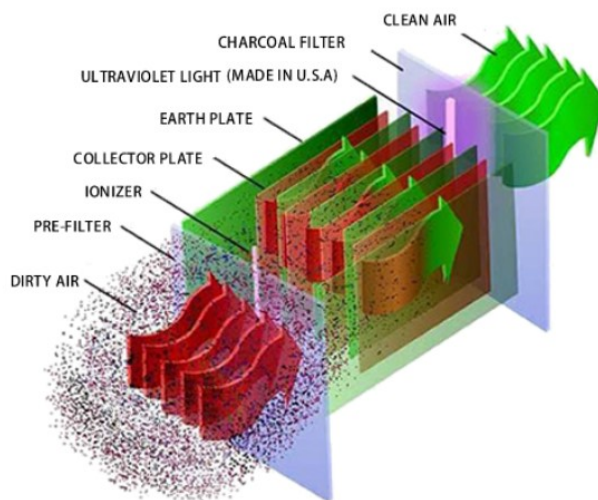


Obrázek 12: Speciální hadice zachycující prachové částice [80]

5.2 Elektrofiltr

Elektrofiltr či elektrostatický filtr nebo také elektrický odlučovač je značně rozměrné zařízení, které se používá zejména pro odlučování částic u velkých objemových průtoků a provozů při těžkých provozních podmínkách. Elektrické odlučování je tedy proces (viz **Obrázek 13**), při kterém jsou tuhé či kapalné částice odstraňovány z nosného plynu na základě působení elektrických sil. Plyn je vháněn do komory, kde jsou umístěny vysokonapěťové stejnosměrné elektrody. Plyn se v okolí vysokonapěťové elektrody ionizuje a tím dochází k nabití prachových částic plynu, které jsou přitahovány k uzemněné elektrodě, na které ulpívají. Následně jsou oklepávány a dále zpracovávány. Pro elektrické odlučovače je často používán i nepřesný název elektrostatické odlučovače. Vytvořené elektrické pole u odlučovačů mezi elektrodami je elektrostatické, avšak pohybem iontů a nabitých částic, ale vzniká mezi elektrodami proud. Název elektrostatický odlučovač není teda zcela přesný. V dnešní době se nejčastěji využívají v energetice u velkých zdrojů při čištění plynů ze spalovacích procesů [45].

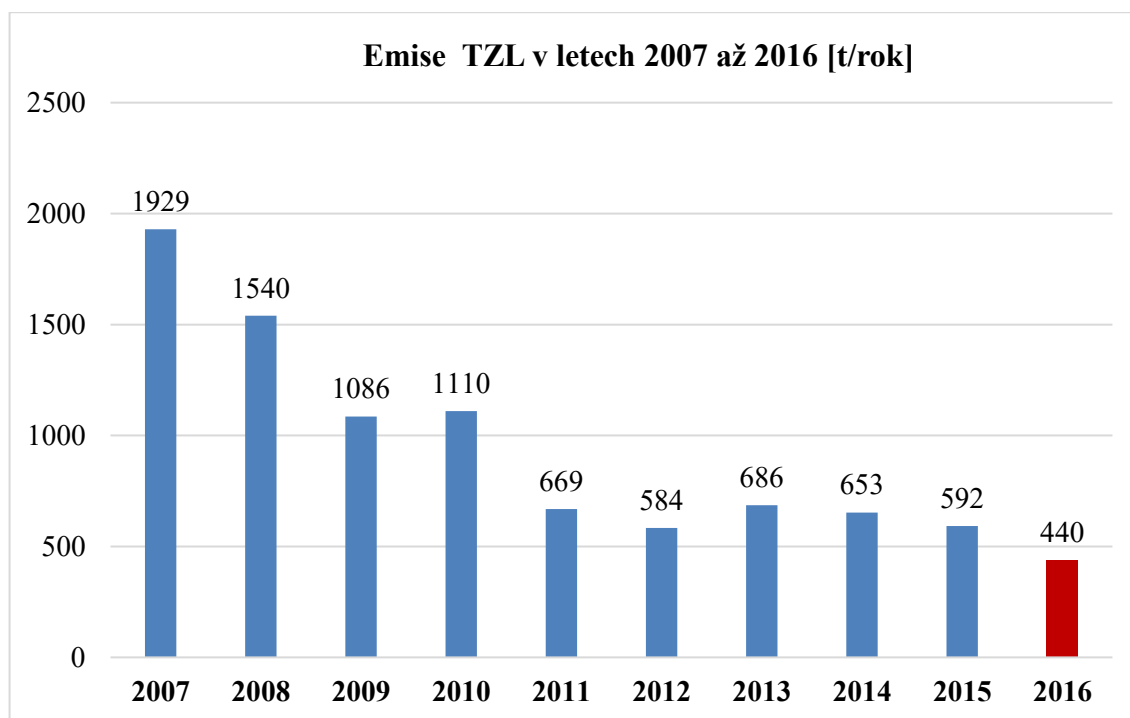
Elektrické odlučovače, které disponují vysokou účinností, jsou velmi citlivé na úsady organických látek. Jejich zdrojem je použití jako náhradního paliva antracitového uhlí, zaolejovaných okujových kalů, tedy surovin, které obsahují prachové organické látky. Úsady organických látek společně s nalepeným prachem mění elektrické parametry odlučovače a mohou vést ke snížení účinnosti odlučování, někdy dokonce až ke samovznícení usazenin s následným poškozením a vyřazením odlučovače [10].



Obrázek 13: Proces elektrického odlučování [80]

5.2.1 Emise tuhých znečišťujících látek

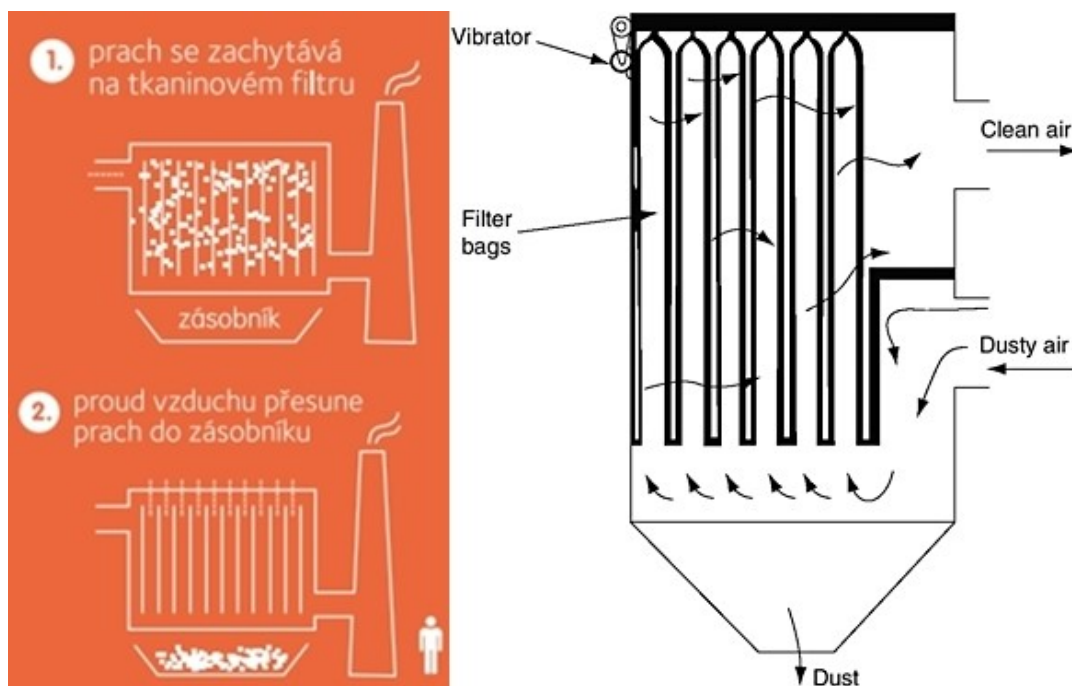
V roce 2016 se poprvé naplno projevil efekt 13 realizovaných investičních akcí, uvedených do provozu na přelomu let 2015/2016. Za pomoci těchto nadstandardních investic se celkové roční komínové emise prachu snížily na historické minimum. Investice do ekologizace v huti stlačily celkové roční emise prachu v roce 2016 na 440 tun. Nejedná se však o jednorázový pokles, nýbrž o pokračování dlouhodobého trendu. Ve srovnání s emisemi z 80. let minulého století představují současné emise pouze 1 % [81]. Podrobnější informace o únicích TZL z předešlých let jsou uvedeny v **Grafu 1**.



Graf 1: Vývoj emisí tuhých znečišťujících látek [82]

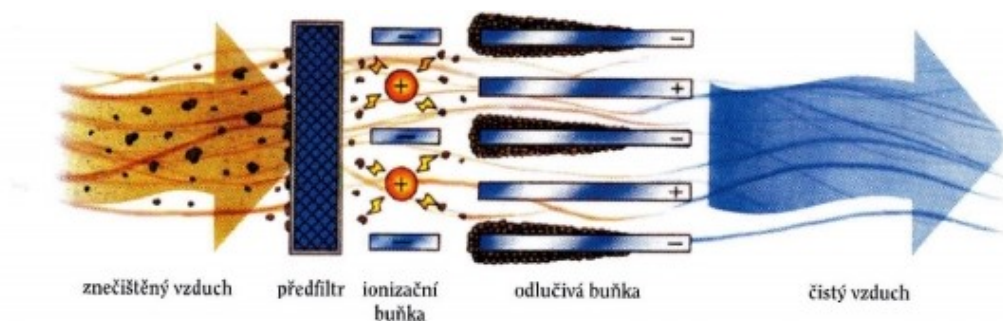
Za rok 2016 bylo dosaženo meziročního snížení emisí prachu o 152 tun. Ekologizace huti tak výrazně přispěla ke snížení vlivu výroby na životní prostředí v Moravskoslezském kraji. Na výstavbu ekologických zařízení dotacemi přispěla i EU, protože už díky předchozím vlastním investicím společnost ArcelorMittal Ostrava a.s. plnila emisní limity EU, které jsou založené na těch nejlepších dostupných technikách (BAT). Základem většiny nových investic je tedy tkaninový filtr, který v současnosti představuje nejmodernější světovou technologii na odprašování hutních provozů. Technologie filtru se vyznačuje vysokou efektivitou, která zaručuje nepřetržitý provoz. Celková plocha tkaninových filtračních hadic nových technologií přesahuje 73 tisíc m², což odpovídá velikosti přibližně deseti fotbalových hřišť [81].

V roce 2016 ArcelorMittal Ostrava a.s. díky tkaninovým filtrům a elektrofiltrům zachytil na aglomeracích celkem 11 329 tun prachových částic. Na **Obrázku 14** je znázorněno, jak tkaninový filtr funguje. Spaliny, které procházejí skrz dlouhé textilní trubice, na kterých se pevné částičky zachycují se pravidelně oklepávají a prachové částice se tak dopraví do zásobníku [81].



Obrázek 14: Princip tkaninového filtru [81]

Na **Obrázku 15** můžeme vidět na jakém principu funguje elektrofiltr neboli elektrický odlučovač. Velké částice škodlivin jsou odloučeny ze vzduchu v předfiltru, malé částice se zachycují v elektrostatické zóně tzv. odlučivé buňce, kde zůstávají tak dlouho, dokud nejsou vyčištěny (vymyty).



Obrázek 15: Princip elektrofiltru-elektrického odlučovače [82]

6 METODIKA

Hlavním úkolem diplomové práce bylo provést analýzy vzorků týkajících se odprašků za lepším poznáním jejich vlastností. Odprašky byly nejdříve analyzovány rentgenovou fluorescenční metodou, zkráceně XRF (angl. X-ray fluorescence). Cílem první analýzy bylo zjistit jaké prvky se ve vzorcích odprašků vyskytují a v jak velkém množství jsou zde zastoupeny. Poté následovalo měření měrného povrchu sorpcí plynu spolu s měřením měrné hmotnosti (hustoty).

6.1 Rentgenová fluorescence

Vzorky jsou uvnitř spektrometru ozařované pomocí rentgenového záření s energií až 60keV (elektronvolt). Vzorky se zpravidla měří ve vakuu, aby bylo možné dosáhnout co nejlepších detekčních limitů zvláště pro lehké prvky. V případě kapalných vzorků či volně sypaných práškových vzorků je možné provádět měření také v dusíkové nebo heliové atmosféře. Rentgenové záření vycházející z rentgenky dopadá na vzorek a vyvolává rentgenovou fluorescenci. Každý prvek periodické tabulky má své charakteristické rentgenové fluorescenční záření, které aby mohlo vzniknout, tak energie primárního záření musí být vyšší, než je excitační energie charakteristického záření [83].

Spektrum primárního svazku se dá měnit zařazením filtru primárního svazku. To může být užitečné tehdy, pokud je zapotřebí upravit excitační spektrum, např. pro excitaci těžších prvků. Aby došlo k odstranění rušivého záření a pozadí, tak paprsky vycházející ze vzorku se kolimují pomocí masky kolimátoru a kolimátoru, aby byly rovnoběžné. Když svazek opustí kolimátor, dopadá na analytický krystal. Jde o organické krystaly nebo uměle vytvořené vícevrstvé struktury. V závislosti na mřížkových vzdálenostech a na základě Braggova zákona dochází k difrakci rentgenových paprsků pod určitými úhly. Je možné využít dohromady 8 pozic pro krystaly [83].

Záření, které přichází z analytického krystalu je detekováno jedním ze dvou detektorů. Jeden z nich je optimalizovaný pro měkké záření a druhý pro tvrdé záření. Aby se ještě více snížilo pozadí, oba detektory jsou vybavené Sollerovými clonami. Detektory jsou upevněné na dva théta goniometru a vzorek na théta goniometru. Během měření se detektor nastaví do odpovídající úhlové polohy (měření peaku) nebo se během měření pohybuje (skenovací měření) [83].

Úhlová poloha pro konstruktivní interferenci je dána Braggovým zákonem. To značí, že dva théta poloha peaku závisí jak na mřížkové vzdálenosti analytického krystalu, tak na vlnové délce charakteristického záření měřeného prvku. Tím, že se všechny prvky měří po sobě jeden po druhém, tak se tento přístroj nazývá sekvenční rentgenový fluorescenční spektrometr [83].

6.1.1 Žihání

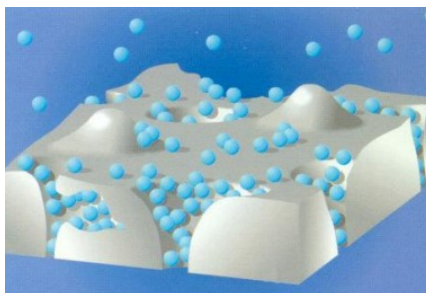
U rentgeno-fluorescenční metody je zapotřebí po dokončení měření vybraných vzorků započíst ztrátu žiháním.

Žiháním se rozumí čtené, a do určité míry i vzájemně velmi odlišné, způsoby tepelného zpracování, jejichž společným znakem je snaha pro dosažení určité úrovně rovnovážného stavu zpracovávané oceli. Žihání je jednoduše řešeno druh tepelného zpracování, které je prováděné za účelem zlepšení vybraných vlastností kovů [83].

Pro stanovení elementárního složení vzorku metodou fundamentálních parametrů bylo zapotřebí stanovit ztrátu žiháním. Hodnota ztráty žiháním v sobě zahrnuje jak fyzikálně, tak chemicky vázanou vodu a také obsah lehkých prvků, které nelze metodou XRF (rentgenová fluorescence) stanovit (např. C či N). Hodnota ztráty žiháním se pak používá pro dopočet do 100 %. Pro stanovení ztráty žiháním se do vyžihaného a zváženého porcelánového kelímku naváží 1 g vzorku s přesností na 1 mg. Kelímek se vzorkem se vloží do žihací pece a žihá se při teplotě přibližně 1000 °C po dobu 4 hodin. Po žihání se kelímek vyjme a nechá se v exikátoru vychladnout po dobu 45 minut a poté se zváží s přesností na 1 mg [83].

6.2 Sorpce plynu

Jedná se o vlastnost povrchů veškerých pevných látek, které mají tendenci k sobě přitahovat molekuly okolních plynů s kterými přichází do kontaktu. Řízením a pozorováním tohoto procesu, který nazýváme adsorpce plynu, můžeme získat velké množství užitečných informací a charakteristik o pevných látkách. Jestliže se za vhodných podmínek uvede v uzavřeném a sledovaném objemu plyn do kontaktu s tuhou látkou, pak se tlak plynu zmenší a na povrchu tuhé látky dochází k zhuštění plynu. Adsorbentem nazýváme látku, na jejímž povrchu došlo k adsorpci a použitému plyn pak říkáme adsorbát. Adsorpční rovnováhou označujeme rovnováhu mezi plynnou fází a adsorbovanou vrstvou. Jakmile molekula plynu přilne k povrchu adsorbentu neboli vzorku stává se z ní adsorbována molekula. Opačným procesem je desorpce, kdy se jedná o odebrání molekul plynu z povrchu. Na **Obrázku 16** můžeme vidět adsorpci molekul plynu na povrchu pevné láky [84].



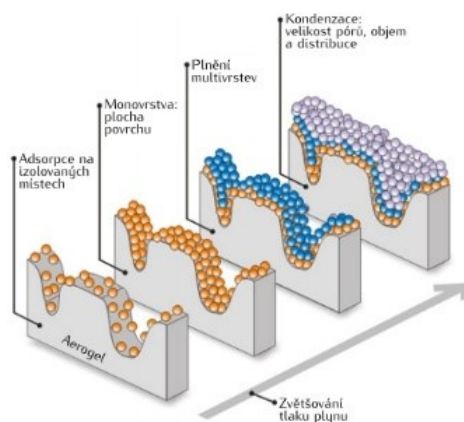
Obrázek 16: Adsorpce molekul plynu na povrchu pevné látky [84]

Adsorpce plynů nám poskytuje důležité informace, mezi které patří např. specifická plocha povrchu (jednotky m^2g^{-1}) a porozita. Plocha povrchu vzorku obsahuje plochu vnějšího a vnitřního povrchu externě přístupných pórů. Musí se změřit množství plynu, které bylo adsorbováno za určitých podmínek (teplota, tlak) na povrchu vzorku. Pokud je zřetelné, jak velkou plochu zaujme molekula plynu za určitých podmínek v adsorbovaném stavu a stanoví-li se množství plynu adsorbované na námi známém množství zkoumaného vzorku, tak můžeme vypočítat jeho specifický povrch, který nemůžeme u pórovitých látek zjistit jiným způsobem. Za pomoci využití tohoto jevu je možné vytvořit experimentální křivku, tedy adsorpční izotermu, která nám udává závislost objemu adsorbovaného plynu na jeho rovnovážném tlaku při stálé teplotě. Jelikož stoupá adsorbovatelnost látek s rostoucí hmotností jejich molekul, tak můžeme na základě adsorpce např. odstraňovat ze vzduchu škodlivé vysokomolekulární páry a plyny. Na stejném principu fungují protiplynové masky

obsahující plněné filtry aktivním uhlím. Řízený proces sorpce může také sloužit ke zjišťování morfologie a textury povrchu vzorků, dále k určování specifické plochy povrchu nebo k výpočtu distribuce šířek pórů a jejich objemu či tvaru. Získané poznatky nacházejí uplatnění např. při výrobě katalyzátorů, keramiky, léčiv nebo stavebních a adsorpčních materiálů. V objemu materiálu bývají veškeré vazby atomů zaplněny, ale atomy na čistém povrchu nemívají zaplněné všechny vazby, protože nebývají plně obklopeny ostatními atomy. Síly, jimiž jsou poutány molekuly plynu k povrchu vzorku mohou být odlišné podstaty. Kvůli tomuto se adsorpce rozděluje podle interakční energie mezi plynem a měřenou látkou na fyzikální a chemickou, zkrácené fyzisorpci a chemisorpci [84]; [85].

Fyzisorpce

Inertní či málo reaktivní plyny, mezi které patří např. argon, dusík nebo krypton, bývají na povrchu pevné látky vázány van der Waalsovými silami. Adsorpce, která je vyvolána těmito silami, se nazývá fyzisorpce a většinou se vyznačuje poměrně nízkými hodnotami adsorpční energie. K fyzisorpci dochází, pokud je vazební energie adsorbované molekuly menší než $50 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Vyznačuje se také tím, že se adsorpční rovnováha mezi adsorbovanými a volnými molekulami ustavuje velmi rychle jak u zvyšování, tak při snižování tlaku plynu. Proto je fyzisorpce označována jako reverzibilní. Jedná se o vratný proces, kterého docílíme buď změnou teploty či tlaku. Během procesu fyzisorpce molekuly plynu postupně obklopují povrch vzorku. Dochází tedy ke vzniku tenké vrstvy tzv. monovrstvy, která při daném počtu molekul pokrývá celý povrch vzorku. Dalším přidáváním molekul plynu dochází k hromadění dalších vrstev, kterou označujeme jako multivrstva. Vznik monovrstvy a multivrstvy můžeme vidět na **Obrázku 17** [52]; [84]; [86].



Obrázek 17: Proces tvorby mono-a multivrstvy s tzv. kapilární kondenzací v pórech [84]

Chemisorpce

Velké množství plynu reaguje s povrchem za pomoci chemické vazby. V takovýchto případech, např. během adsorpce vodíku na některé kovy, jako je paladium, měď či nikl, dochází ke vzniku chemické vazby za tvorby sloučeniny hybridů. Chemisorpce je typická svou ireverzibilitou. To znamená, že jednou vytvořená vrstva zůstane zčásti dochována i po vyčerpání plynu ze soustavy. Od fyzisorpce se chemisorpce odlišuje tím, že odpovídající adsorpční energie jsou výrazně vyšší a také tím, že k ní dochází při vyšších teplotách. Během chemisorpce se vytváří jen jedna vrstva adsorbovaných molekul. U chemisorpce je molekula adsorbována, pokud je vazební energie větší než $50 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Chemisorpci lze využít zejména pro zjištění počtu povrchově aktivních míst [52]; [84]; [86].

Adsorbenty

Adsorbentem rozumíme materiál disponující vysokou sorpční schopností plynu, který na sebe dokáže adsorbovat vhodný plyn(látku) za účelem lepší manipulace či úplného odstranění z daného prostředí. Plocha povrchu adsorbentů je závislá především na jejich struktuře, protože čím více pórů mají, tím je jejich plocha větší, která má významný vliv na povrchové reakce. Póry pak dále slouží k snadnější manipulaci adsorbovaného plynu. Adsorbenty jsou většinou využívány ve formě sférických částic nebo úlomků krystalů s velikostí mezi 0,5 – 10 mm. Je zapotřebí, aby měl vysokou abrazivní odolnost, dále vysokou teplotní stabilitu a menší průměr pórů, které zvyšují přístupnou plochu povrchu, tím pádem kapacitu adsorpce [84].

Často využívaným adsorbentem je silikagel. Jedná se granulovitou pórovitou formu oxidu křemičitého, která je vyráběna synteticky z křemičitanu sodného. Má velmi vysokou porozitu, která tak umožňuje snadněji adsorbovat vodu. Proto je silikagel hojně využíván k pohlcování vlhkosti. Silikagel je stabilní do $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a může také snížit relativní vlhkost uzavřeného systému až na nějakých 40 % a po nasycení vodou může být regenerován ohřátím na $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [84]; [87].

Mezi další často využívaný adsorbent patří zeolity, kterými jsou buď přírodní, nebo syntetické aluminosilikáty, které vytvářejí krystalovou mříž s molekulárními póry. Zeolity nacházejí uplatnění např. v procesech sušení vzduchu. Mezi nejčastější adsorbent s extrémně vysokou plochou povrchu patří aktivní uhlí. Jde o produkt, který je vyráběn z uhlí, dřeva či dokonce kokosových ořechů. Výrobní proces je složen z aktivace a karbonizace. Aktivní

uhlí je charakteristické svou pórovitou strukturou a specifickou plochou povrchu, která je velká až $2000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, čímž dokáže adsorbovat široké spektrum látek. Aktivní uhlí se používá pro adsorpci organických sloučenin nebo také k čištění odpadních vod a plynů [84]; [87].

6.2.1 Adsorpční izotermy

Během adsorpce mezi adsorbovanou vrstvou a plynnou fází dříve nebo později vznikne rovnováha. Za konstantní teploty je množství adsorbovaného plynu závislé na tlaku adsorbujícího plynu. Pokud graficky vyjádříme množství plynu, které bylo adsorbováno na povrch vzorku při rozdílných tlacích plynu, nazýváme to adsorpční izotermou. Adsorpční izotermy vystihují rovnici, kterou popsal Freundlich a Küster v roce 1894 [84]; [88].

6.2.2 Langmuirova izoterma

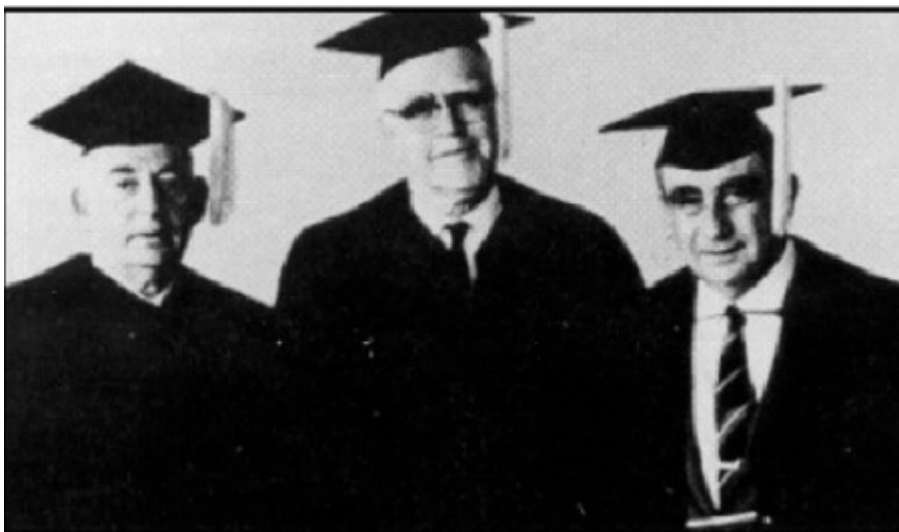
V roce 1916 Irving Langmuir dokázal odvodit novou izotermu pro plyny, které byly adsorbovány na pevné látky. Jedná se o jednodušší rovnici adsorpční izotermy, která je vyhovující pro některé případy jednovrstvové adsorpce. Irving Langmuir během jejího odvození předpokládal vytvoření pouze jediné vrstvy adsorbovaných molekul a rovnocennost veškerých míst povrchu adsorbentu z pohledu jejich adsorpčních schopností. Langmuir využil myšlenky, že je rychlost v rovnováze, s jakou molekuly adsorbují, rovna rychlosti, kterou z povrchu desorbují. Jedná se o empirickou izotermu, která se skládá ze čtyř předpokladů [84]; [88]:

1. Povrch adsorbentu je homogenní,
2. Mezi adsorbujícími molekulami nedochází k vzájemnému působení, ovlivňování se,
3. Ke vzniku adsorpce dochází stejným mechanismem,
4. Během maximální adsorpce dochází k formování pouze jedné vrstvy (monovrstvy).

Všechny tyto čtyři body bývají splněny velice zřídka. Obvykle na povrchu totiž existují nepravidelnosti, kdy adsorbované molekuly nebývají zcela inertní a mechanismus adsorpce tak není vždy stejný pro první a poslední adsorbovanou molekulu [84].

6.2.3 BET izoterma (BET teorie)

V praktických aplikacích molekuly plynu adsorbují velmi často na povrchu pevných látek do multivrstvy, adsorbují na sebe a zde pak Langmuirova izoterma neplatí. Roku 1938 Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett a Edward Teller definovali izotermu, která uvažuje výše zmíněnou skutečnost (viz **Obrázek 18**). Jedná se o velice známé pravidlo pro fyzisorpci molekul plynu na povrchu pevných látek, které je základem analytické metody sloužící pro měření specifické plochy povrchu materiálů, zkráceně se označuje jako BET teorie. Pro využití této metody vznikla mezinárodní norma ISO 9277:1995, která je určena ke standardizaci v měření specifické plochy povrchu fyzisorpcí plynu a vyhodnocování BET metodou. Podstatou teorie je rozšíření Langmuirovy teorie o další předpoklady, že molekuly plynů fyzisorbují na pevnou látku ve vrstvách, že adsorpční vrstvy mezi sebou neinteragují, a že Langmuirovu teorii je možno aplikovat na každou vrstvu až do prvního zkapalnění adsorbátu [84]; [89].



Obrázek 18: Brunauer, Emmett a Teller v roce 1969 na Clarkson University [84]

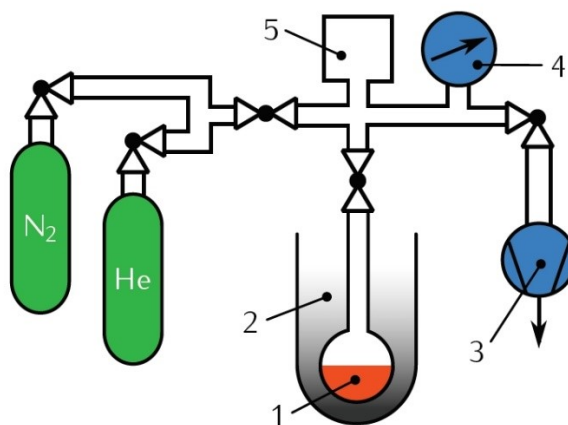
Adsorbáty

Dusík je při teplotě 77 K (-196,15 °C) nejpoužívanějším adsorbátem, který se používá k určování plochy povrchu a distribuce velikosti pórů. Pro spolehlivé a přesné vyhodnocení distribuce velikosti pórů, a především mikropórů je vhodné využít i jiné plyny s menším rozměrem molekul. Mezi alternativní techniku adsorpce plynu, která se používá k analýze velikosti makropórů, je např. rtuťová porozimetrie [52]; [84].

6.2.4 Metody měření adsorpčních izoterem

Pro měření množství adsorbovaného plynu se využívá několik metod. Mezi nejčastější metody patří volumetrické, gravimetrické, kalorimetrické či spektroskopické. K nejpoužívanějším však patří volumetrické metody, které jsou navrženy pro měření dusíkových nebo kryptonových izoterem při teplotě 77 K (-196,15 °C) a argonových izoterem při teplotě 87 K (-186,15 °C). Termínem „volumetrický“ rozumíme, že adsorbované množství je odvozeno z měření změny tlaku plynu během změny objemu plynu. Izoterma je většinou zaznamenávána bod po bodu šetrným dodáváním a odebíráním známého množství plynu v přesně daných časových intervalech, které jsou potřebné pro dosažení rovnováhy v každém bodě. V dnešní době se využívají automatizované techniky měření, které v některých případech dovolují pomalé kontinuální vpouštění adsorptiva. Pokud správně použijeme kontinuální tlakoměrnou proceduru, tak docílíme obrovské výhody v možnosti odhalení nepatrných vlastností (mezi jednotlivými kroky), které diskrétní metoda nemusí vůbec zaznamenat [52]; [84]; [88].

Během statické volumetrické metodě, při které jsou určeny adsorpční izotermy, jsou vpouštěna známá množství plynu do prostoru vzorku (viz **Obrázek 19**) [84].



Obrázek 19: Princip volumetrické metody: 1 – měrný vzorek, 2 – Dewarova nádoba s kapalným dusíkem, 3 – připojení vakuového systému, 4 – tlakoměr a 5 – kalibrovaný objem [84]

Při každém kroku v průběhu měření se čeká do té doby, než se ustálí rovnováha. Adsorbované množství plynu je rozdílem mezi vpuštěným množstvím plynu a množstvím plynu, který vyplňuje mrtvý objem. Mrtvý objem značí objem mimo vzorek, tedy vzorkem nevyplněná část byrety a přívodu plynu mezi uzavíracím ventilem a tlakoměrem [52]; [84].

6.3 Měrná hmotnost-hustota

Měrná hmotnost u kapalin

Měrná hmotnost nebo také hustota je fyzikální charakteristikou a kritériem čistoty chemické látky. Nejčastěji však slouží ke zjištění koncentrace roztoku. Vzhledem k tomu, že během rozpouštění látek dochází ke změnám objemu, je zapotřebí, aby hustota roztoku o dané koncentraci byla zjištěna měřením, nelze ji vypočítat z hustot čistých složek. Objem u většiny kapalin roste s rostoucí teplotou a hustota proto klesá. Proto je třeba při každém stanovení hustoty kapaliny uvést její teplotu. Lékopis udává hodnoty hustot při 20 °C. K měření hustoty kapaliny se většinou používá pyknometr. Jedná se o nádobku, která pojme vždy stejný objem kapaliny. Při plnění pyknometru se musí dbát na to, aby byl sloupec kapaliny v celé kapiláře zátky, ale nahoře nesmí být ani kapka. Správné naplnění pyknometru je klíčové, aby bylo dosaženo správných výsledků. Pyknometrické stanovení hustoty je založeno na porovnání hmotnosti určitého objemu zkoumané kapaliny s hmotností stejného objemu kapaliny o známé hustotě. Porovnávací kapalinou bývá destilovaná voda, jejíž hustota v závislosti na teplotě je určena s velkou přesností [90].

Měrná hmotnost u pevných látek

Princip pyknometrického stanovení hustoty pevných látek je založen na určení objemu plynu, který je vytlačen za přesně definovaných podmínek práškem o známé hmotnosti. Pyknometrická hustota prášku se potom z hodnot objemu a hmotnosti vypočítá. V laboratoři se často určuje pravá hustota pyknometricky pomocí kapaliny o známé hustotě, která pevnou látku dobře smáčí, nerozpouští ji a jejíž hustota je menší než hustota stanovované pevné látky. Proto se používají kapaliny s malým povrchovým napětím (ether) [90].

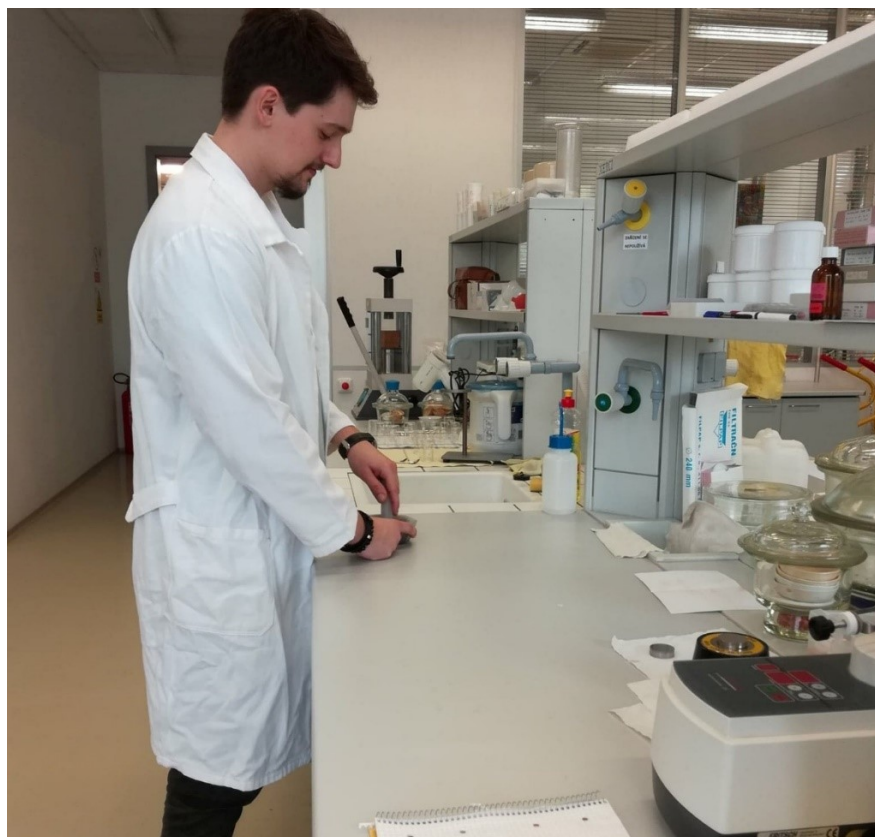
7 POSTUP MĚŘENÍ

V následujících třech kapitolách jsou detailněji popsány postupy měření obou vzorků.

7.1 Stanovení vzorků XRF metodou

Vzorky odprašků byly nejprve usušeny a dále byl každý vzorek zvlášť postupně roztírán v achátové třecí misce. Následně se vzorek připravil na lisování v lisu, který slouží na přípravu tablet. Tablety byly poté vloženy do spektrometru S8 TIGER, kde došlo ke stanovení vzorků odprašků. Před lisováním se naváží 4 g vzorku, následně se smíchá a homogenizuje s 0,9 g pojiva. Jako pojivo se použil Hoechstův vosk C. Homogenizace vzorku s pojivem se provádí v achátové třecí misce s tloučkem a takto připravený vzorek se nasype do lisovacího zařízení. Pro přípravu tablety o průměru 32 mm se používá manuální hydraulický lis Maassen. Připravené pelety se do doby analýzy uchovávají ve tmě v exsikátoru.

Na **Obrázku 20** je vidět homogenizace vzorku jednoho z odprašků s pojivem prováděna v achátové třecí misce s tloučkem.



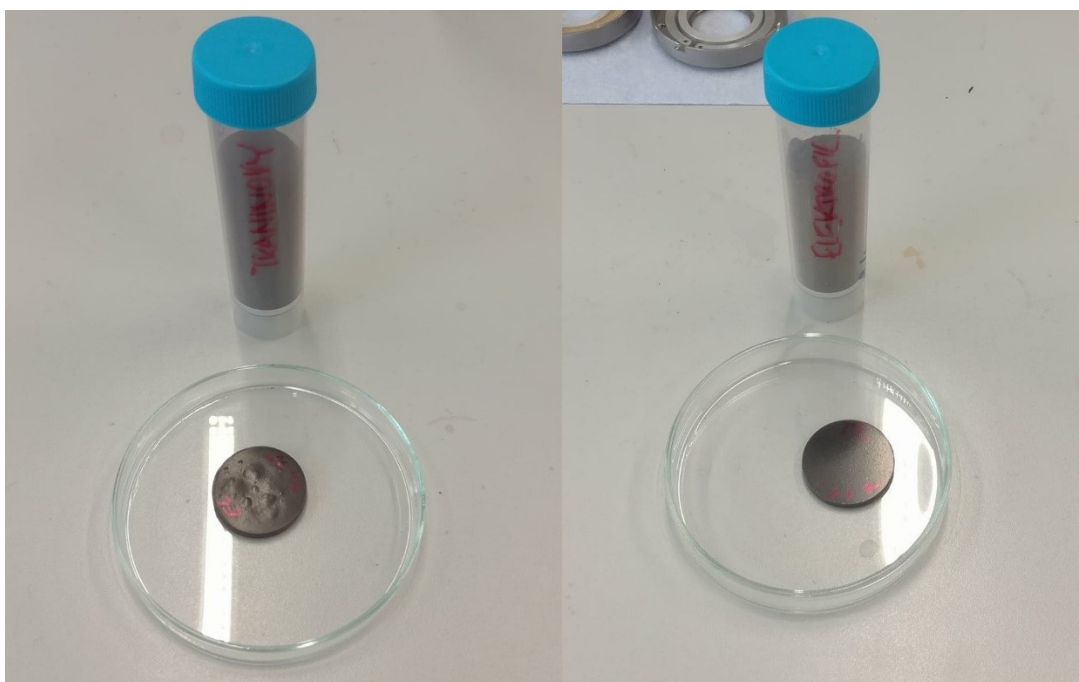
Obrázek 20: Homogenizace vzorku v achátové třecí misce [Foto autor: Tkáč, 2018]

Na níže uvedeném **Obrázku 21** je vlevo zobrazeno lisovací zařízení, kde byl vzorek nasypán a vzápětí byl vložen do hydraulického lisu Maassen, který můžeme vidět vpravo na obrázku.



Obrázek 21: Lisovací zařízení spolu s hydraulickým lisem Maassen [Foto autor: Tkáč, 2018]

Na **Obrázku 22** jsou zobrazeny už vylisované vzorky obou odprašků v podobě tablet (pelet), které budou dále stanoveny v rentgenovém fluorescenčním spektrometru S8 Tiger.



Obrázek 22: Tablety tkaninového filtru a elektrofiltru [Foto autor: Tkáč, 2018]

Oba typy odprašků byly tedy stanoveny pomocí *rentgeno-fluorescenčního spektrometru S8 TIGER* od firmy Bruker s.r.o. v laboratořích CPIT (centrum pokročilých inovačních technologií) na VŠB-TUO za pomoci paní Ing. Martiny Nováčkové.

Spektrometr S8 TIGER (viz **Obrázek 23**) je vlnově disperzní spektrometr, který je vybavený heliovým systémem pro kapalně vzorky, 34 mm maskou, dále plynovým proporcionálním detektorem, scintilačním detektorem a šedesátimístným zásobníkem na vzorky s deseti kazetami osazenými 34 mm maskami. Mimořádný analytický výkon systému S8 TIGER vychází z inovativně optimalizované RTG optiky. Zatímco nová, vysoko intenzivní rentgenová trubice excituje vzorek ještě efektivněji, nové analyzační krystaly pro různé prvky a specifické aplikace vylepšují detekční limity, přesnost a také rozlišení. Pro účely rutinního ovládání jsou na počítači nainstalovány programy jako je SPECTRAplus, S8 Tools a software pro vzdálený přístup k zařízení. S8 TIGER dokáže analyzovat všechny prvky od beryllia až po uran, a to v nejrůznějších typech vzorků. SPECTRAplus s bezstandardovým analytickým balíčkem QUANT-EXPRESS umožňuje ultrarychlou analýzu naprosto neznámých vzorků. S8 TIGER je určen pro náročné aplikace v průmyslových procesech a kontrole kvality, ale také jako výkonný nástroj pro elementární analýzu v laboratořích výzkumu a vývoje [83].



Obrázek 23: Spektrometr S8 Tiger [Foto autor: Tkáč, 2018]

7.2 Stanovení měrného povrchu

Odebrané vzorky odprašků ze společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s., které saje sací bagr byly dále podrobeny další analýze. Touto analýzou byl změřen specifický měrný povrch vzorků odprašků, který byl měřen na přístroji Quantachrome Autosorb iQ (viz **Obrázek 24**) v laboratoři fyzikálně-chemických metod ICT (Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin) na VŠB-TUO. Přístroj slouží jak k měření specifického měrného povrchu částic nanomateriálů, cementů, sorbentů, stavebních hmot či pigmentů metodou BET (viz **Kapitola 6.2.3**) na základě fyzikální adsorpce a desorpce dusíku na absorbátu, tak k výpočtu průměru mikropórů (0,2 nm) a mezopórů (2-50 nm).



Obrázek 24: Porozimetr Autosorb IQ [Foto autor: Tkáč, 2018]

Povrch připravených vzorků odprašků byl charakterizován pomocí měření adsorpce dusíku při teplotě 77,35 K (-195,8 °C) na porozimetru Quantachrome Autosorb iQ. Před samotným měřením byly vzorky odprašků ještě odplyňovány při teplotě 110 °C po dobu přibližně 10 hodin.

Specifický měrný povrch byl u obou typů odprašků stanoven pomocí vícebodové BET analýzy v rozmezí relativních tlaků 0,15 až 0,30 pro neupravovaný vzorek odprašku. Přesněji řečeno 0,25 až 0,45 pro vzorek termicky aktivovaný při 300 °C.

7.3 Měrná hmotnost vzorků

Poslední analýzou byla zjištěna měrná hmotnost, respektive hustota v laboratoři VŠB-TUO. Každý vzorek odprašku byl měřen zvlášť. Měrná hmotnost odebraných odprašků byla stanovena pomocí pyknometru (viz **Obrázek 25**), který se používá ke stanovení hustoty kapalin nebo malých tuhých tělísek jako jsou v tomhle případě vzorky odprašků [91].



Obrázek 25: Pyknometr [91]

Postup měření

- Pyknometr se nejprve vymyje čistou vodou, vypláchne lihem, etherem a doplní etherem až po okraj a uzavře zátkou.
- Následně se přebytečná kapalina odsaje filtračním papírem.
- Poté se pyknometr osuší a zváží na analytických vahách, přičemž z důvodu těkavosti je ether třeba zvážet co nejdříve.
- Pyknometr se dále vysuší a naplní přibližně do jedné třetiny zkoumanou látkou a na analytických vahách se opět zváží.
- Posléze se pipetou doplní pyknometr etherem až po okraj a uzavře zátkou.
- Přebytečný ether se odsaje filtračním papírem a pyknometr se usuší a zváží na analytických vahách [90].

8 VÝSLEDKY

Výsledné hodnoty chemické analýzy prvků za použití rentgen fluorescenčního spektrometru u obou odprašků můžeme podrobněji vidět v **Tabulce 2** a v **Tabulce 3**. Pro lepší přehled jsou dále prvky zobrazeny v **Grafu 2** a **3**.

Odpraškem se rozumí vedlejší produkt vznikající při výrobě oceli a litiny. Odprašky spadají do kategorie nebezpečných odpadů. Vyznačují se vysokým obsahem oxidů železa, ale také obsahem těžkých kovů, jak můžeme vidět v níže uvedené **Tabulce 2** a **3**. Výsledné hodnoty jsou v **Tabulce 2** uvedeny v procentuálním zastoupení, jelikož se jedná o matriční prvky, tedy prvky, které jsou v obou typech filtru zastoupeny většinou.

Tabulka 2: Zastoupení matričních prvků [Zdroj: Vlastní zpracování]

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃
Tkaninový filtr	5,39 %	0,61 %	0,72 %	3,24 %	0,06 %	2,26 %
Elektrofiltr	13,93 %	0,44 %	0,29 %	0,86 %	0,01 %	1,13 %
	MnO	Fe ₂ O ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂
Tkaninový filtr	0,13 %	63,76 %	6,73 %	2,44 %	4,31 %	0,03 %
Elektrofiltr	0,03 %	12,76 %	17,42 %	5,20 %	2,09 %	0,02 %

V **Tabulce 3** jsou pro změnu zobrazeny stopové prvky, které jsou oproti matričním prvkům, jak můžeme vidět, zastoupeny pouze ve stopovém množství.

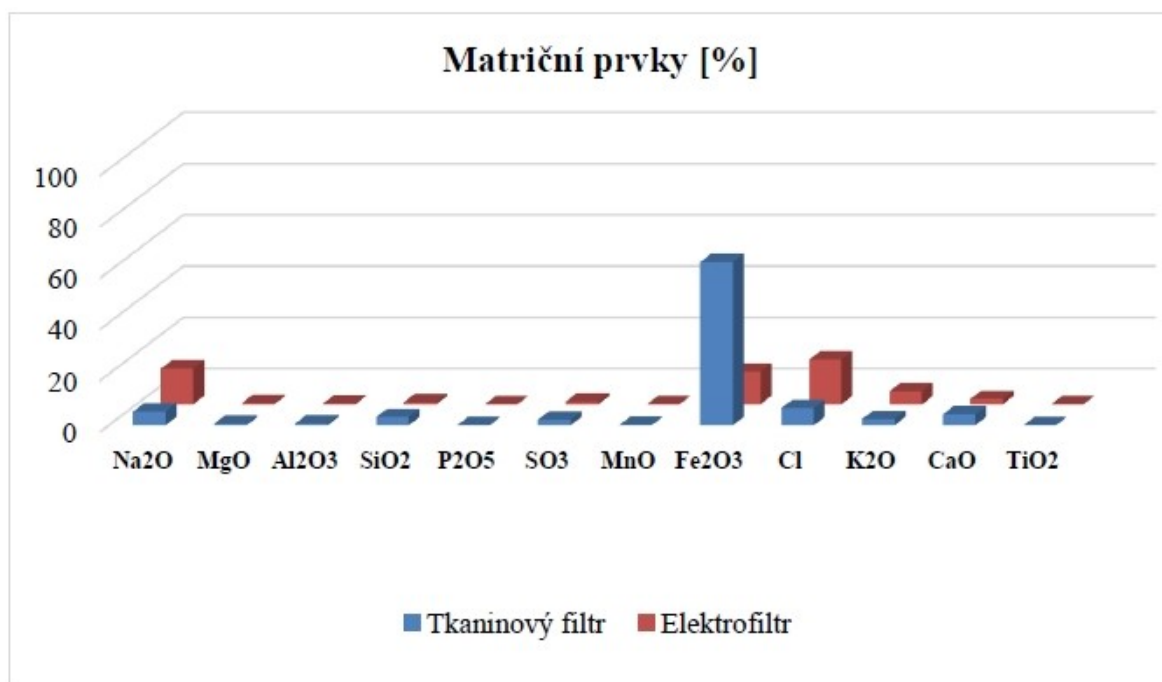
Tabulka 3: Zastoupení stopových prvků [Zdroj: Vlastní zpracování]

	V (ppm)	Cr (ppm)	Ni (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nb (ppm)
Tkaninový filtr	15	220	53	9	10	3
Elektrofiltr	21	165	53	3	11	4
	Mo (ppm)	Cs (ppm)	Ba (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)
Tkaninový filtr	6	12	50	308	139	10
Elektrofiltr	6	243	19	1559	974	2
	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Cd (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Pb (ppm)
Tkaninový filtr	156	46	20	12	28	338
Elektrofiltr	743	73	48	12	13	2480
	Th (ppm)	U (ppm)				
Tkaninový filtr	2	4				
Elektrofiltr	2	4				

U obou typů vzorků odprašků byla ztráta žiháním započtena pouze u měření QE. Zkratka označuje rychlou analýzu, pomocí které jsme získali matriční prvky. U druhé metody měření, která se označuje jako GQT neboli pomalá analýza, se ztráta žiháním nestanovuje, přičemž výsledkem této analýzy jsou stopové prvky.

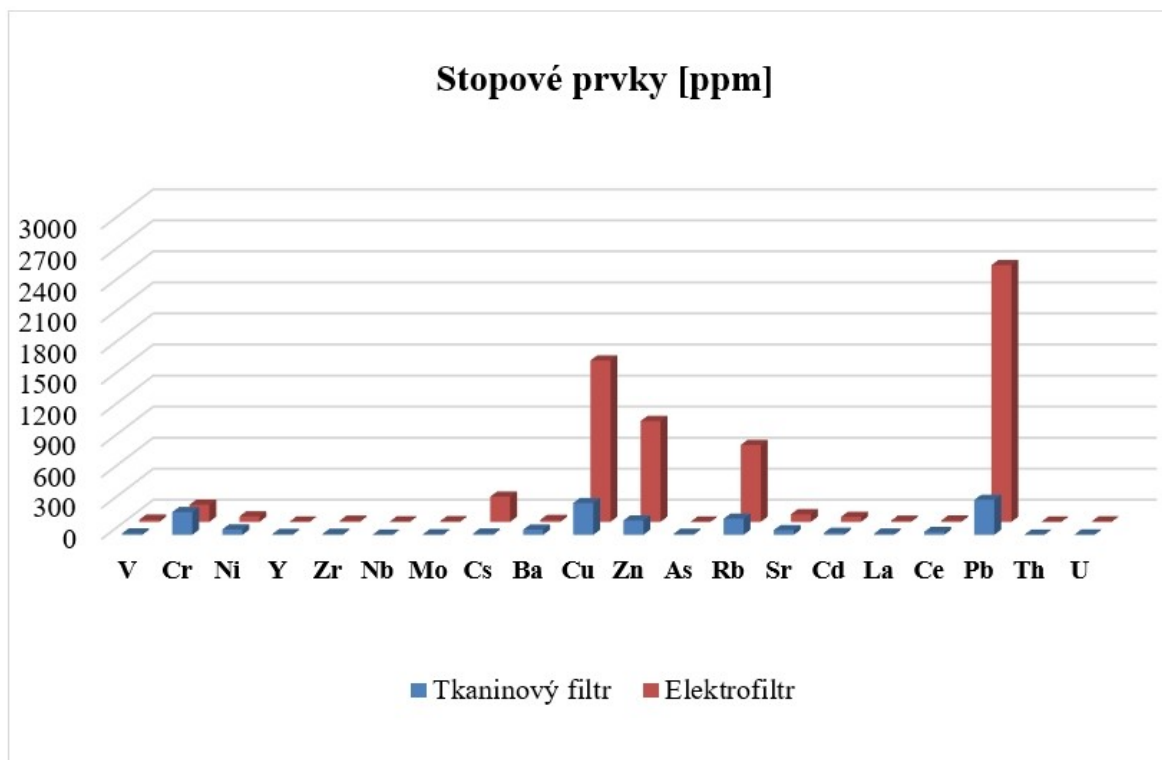
Ztráta žiháním u první metody měření QE pro *tkaninový filtr* vyšla **10,12 %** a pro *elektrofiltr* **45,47 %**.

Pro lepší přehled jsou v **Grafu 2** zobrazeny matriční prvky a jejich procentuální zastoupení v odprašku pocházejícího z tkaninového filtru a elektrofiltru. U matričních prvků, jak vidíme v **Grafu 2**, převládají oxidy s výjimkou Cl (chloru). Jak je již z grafu patrné, tak největší zastoupení v odprašku z tkaninového filtru má Fe_2O_3 (oxid železitý), a naopak nejméně zastoupený je zde TiO_2 (oxid titaničitý). Co se týká odprašku z elektrofiltru, tak nejvíce se vyskytujícím prvkem u matričních prvků je Cl a nejméně se vyskytujícím je P_2O_5 (oxid fosforečný).



Graf 2: Matriční prvky u odprašku z tkaninového filtru a elektrofiltru [Zdroj: Vlastní zpracování]

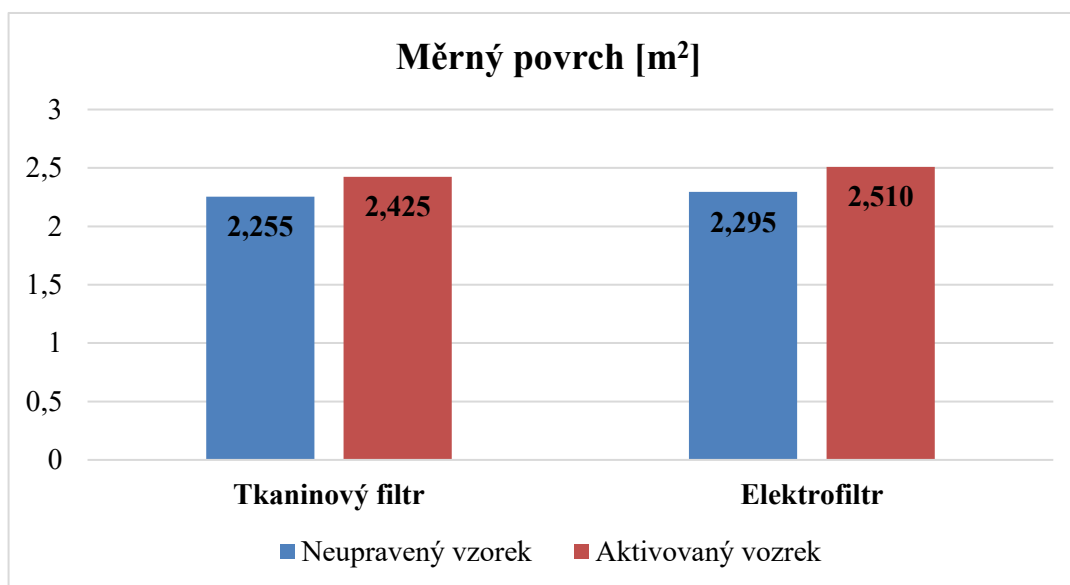
V **Grafu 3** vidíme prvky ve stopovém množství, které byly stanoveny GQT analýzou, jinými slovy pomalou analýzou. Z grafu je patrné, že mezi nejvíce zastoupený stopový prvek, který je obsažen ve vzorku odprašku z tkaninového filtru a elektrofiltru patří Pb (olovo). Olovo, jak je patrné z grafu několika násobně převyšuje ostatní prvky. Ve vzorku odprašku z tkaninového filtru představuje nejmenší zastoupení prvek Th (thallium) a u elektrofiltru rovněž Th spolu s As (arsen).



Graf 3: Stopové prvky u odprašku z tkaninového filtru a elektrofiltru [Zdroj: Vlastní zpracování]

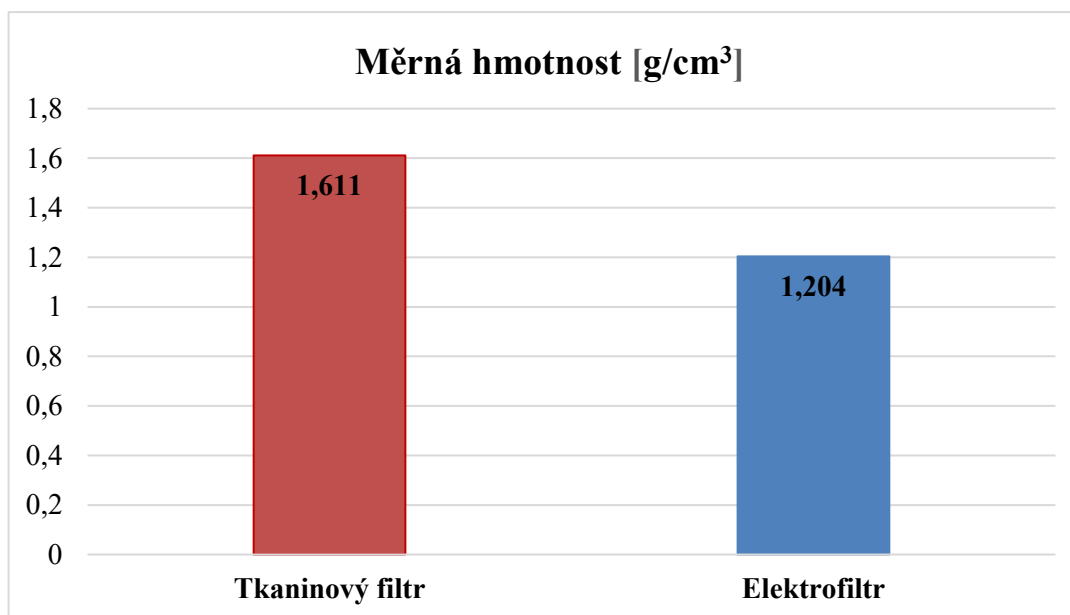
Výsledky měření měrného povrchu a měrné hmotnosti

Specifický měrný povrch pro neupravený vzorek odprašku z tkaninového filtru vyšel $2,255 \text{ m}^2/\text{g}$, respektive $2,425 \text{ m}^2/\text{g}$ pro aktivovaný vzorek odprašku. U druhého neupraveného vzorku odprašku z elektrofiltru vyšel specifický měrný povrch $2,295 \text{ m}^2/\text{g}$ a u aktivovaného vzorku $2,510 \text{ m}^2/\text{g}$. Pro lepší přehled jsou výsledné hodnoty uvedeny v **Grafu 4**.



Graf 4: Výsledné hodnoty specifického měrného povrchu vzorků odprašků [Zdroj: Vlastní zpracování]

Jak je patrné z **Grafu 5**, výsledná hodnota měrné hmotnosti vypočtených vzorků odprašků vyšla u tkaninového filtru $1,611 \text{ g/cm}^3$ a u elektrofiltru $1,204 \text{ g/cm}^3$.



Graf 5: Měrný povrch obou odprašků [Zdroj: Vlastní zpracování]

9 NÁVRHY A DOPORUČENÍ – DISKUZE

Za účelem lepšího poznání vybraných vzorků odprašků z tkaninového filtru a elektrofiltru byly provedeny dohromady tři analýzy v laboratořích VŠB-TUO.

Výroba železa a oceli bývá vždy doprovázená vznikem odpadů, mezi které odprašky patří. Ty bývají dále zachycovány v zařízeních na odprašení jako je tkaninový filtr nebo elektrofiltr. Metalurgické odprašky obsahují vysoký obsah železa, ale také obsah nebezpečných kovů zatěžujících životní prostředí, ke kterým patří zejména zinek, měď a olovo. V rámci první analýzy vzorků bylo zjištěno přesné zastoupení prvků obsažených v odprašku pocházejícího z tkaninového filtru a elektrofiltru. Oba vzorky byly podrobeny dvěma analýzám, přičemž první analýzou se zkratkou QE, přesněji řečeno rychlá analýza, bylo získáno zastoupení prvků, které se v odprašcích vyskytují z velké části. Vzorky byly následně opět zanalyzovány, ale jinou metodou měření, která je označována jako GQT neboli pomalá analýza.

První metodou měření QE bylo u odprašku z tkaninového filtru zjištěno, že zde hlavně převládají oxidy kromě Cl, který je zde obsažen z 6,73 %. K nejvíce zastoupeným oxidům patří Fe_2O_3 - 63,76 %, Na_2O - 5,39 % a CaO - 4,31 %. Zbylé oxidy nejsou v odprašku zastoupeny ani z pouhých čtyř procent. Mezi takové oxidy se řadí SiO_2 - 3,24 %, K_2O - 2,44 % nebo SO_3 - 2,26 %. Odprašek z elektrofiltru stanoven metodou QE obsahuje stejné prvky jenom v rozdílném zastoupením. Z prvků v něm obsažených převládá Cl - 17,42 % spolu s Na_2O - 13,93 % a Fe_2O_3 - 12,76 %. Menšinové zastoupení najdeme u MnO - 0,03 %, TiO_2 - 0,02 % a P_2O_5 - 0,01 %.

Druhá metoda měření GQT vzorků odprašků vyhodnotila výskyt odlišných prvků v rozdílném zastoupení v porovnání s QE analýzou. Prvky jsou zde pro změnu zastoupeny ve stopovém množství z důvodů rozdílné metody měření. Největší zastoupení týkající se odprašku z tkaninového filtru a elektrofiltru představuje Pb - 338 ppm a 2480 ppm. K dalším hojně zastoupeným prvkům z odprašku tkaninového filtru stojí za zmínku Cu - 308, Cr - 220 ppm, Rb - 156 ppm a Zn - 139 ppm. Naopak k nejméně zastoupeným prvkům se řadí Nb - 3 ppm, U - 4 ppm či Th - 2 ppm. U odprašku z elektrofiltru zde můžeme najít největší zastoupení u prvků jako je Cu - 1559 ppm, Rb - 743 ppm nebo Zn - 974 ppm. Nejmenší zastoupení představují Th - 2 ppm, As - 2 ppm a Nb - 4 ppm.

Výsledné hodnoty u odprašku z tkaninového filtru a elektrofiltru jsou rozdílné z toho důvodu, protože pocházejí z pěti různých aglomeračních pásů jakožto vedlejší produkt výroby. Všech pět aglomeračních pásů je sice odprašováno zároveň tkaninovým filtrem a elektrofiltrem, ovšem každý filtr má jinou účinnost odprašení. Účinnost tkaninových filtrů je neuvěřitelných 99 % oproti elektrofiltrům, u kterých je účinnost výrazně nižší. Odprašky jsou nejprve odprašeny ze spékacích pásů aglomerace tkaninovým filtrem a zároveň elektrofiltrem (dvoustupňově), kde jsou dále ze zásobníků odsávány sacím bagrem.

V návaznosti na tuto analýzu byla provedena další, kterou byl zjištěn specifický měrný povrch obou vzorků odprašků. Povrch vzorků byl charakterizován adsorpcí dusíku při teplotě 77,35 K. Měrný povrch u obou vzorků byl stanoven vícebodovou BET analýzou, a to v rozmezí tlaků od 0,15 do 0,30 pro neupravovaný vzorek odprašku, lépe řečeno 0,25 až 0,45 pro vzorek, který byl termicky aktivován při 300 °C. Výsledná hodnota specifický měrného povrchu u nepraveného vzorku odprašku z tkaninového filtru je 2,255 m²/g a pro aktivovaný vzorek odprašku 2,425 m²/g. Specifický měrný povrch u druhého ještě neupraveného vzorku odprašku z elektrofiltru vyšel 2,295 m²/g a u vzorku termicky aktivovaného 2,510 m²/g.

Poslední analýzou vybraných vzorků odprašků byla zjištěna jejich měrná hmotnost neboli hustota. Měrná hmotnost odprašku z tkaninového filtru vyšla 1,611 g/cm³. Odprašek z elektrofiltru vykazoval měrnou hmotnost 1,204 g/cm³. Výsledné hodnoty jsou téměř stejné jenom s rozdílem 0,407 g/cm³, který je přisuzován opět rozdílnému aglomeračnímu provozu.

Odpady vzniklé během výroby železa a oceli znamenají pro celý výrobní proces buď vratný neboli dále použitelný materiál, nebo odpad v další výrobě nepoužitelný. Materiálové využití hutních odpadů v tomto případě odprašků, které obsahují vysoký obsah železa je možné opět navrátit do hutní výroby. V současnosti ve společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. probíhá projekt, který se zabývá zpracováním a zpětným využitím materiálů, které byly klasifikovány jako odpad. V minulosti se tyto odpady skládkovaly a již se dále nevyužívaly. Všechny tyto odpady pocházejí z procesu výroby, a proto mají podobné chemické složení jako vstupní materiály potřebné pro výrobu. Společnost zvolila místa, kde se jednotlivé materiály, mezi které patří odprašky z aglomerace, válcovenské okuje, struska z pánvové pece nebo ocelářská struska a další, dají opětovně využít.

K vybraným místům patří závod 12 - aglomerace a vysoké pece a závod 13 - ocelárna. Projekt týkající se efektivního hospodaření s hutními odpady přináší společnosti úsporu ve výši přibližně 125 milionů korun ročně.

Z důvodů přítomnosti těžkých kovů obsažených v odprašcích je však bráněno přímému využití těchto odpadů. Proto je zapotřebí nejprve takový odpad upravit pomocí procesu rafinace nebo zkusování s následným pyrometalurgickým zpracováním. Pyrometalurgické procesy jsou používány k odstranění těžkých kovů a ostatních nežádoucích prvků z jemnozrnných odpadů jako jsou např. právě hutnické odprašky. Především se jedná o Zn, Pb, Cd a další škodlivé prvky. V průběhu pyrometalurgických procesů dochází k redukci a následnému odpaření těkavých kovů oxidů. Zpracování odprašek v podobě briket, které prošly pyrometalurgickým procesem umožňuje jejich další průmyslové využití [92].

Momentálně hutní odprašky nacházejí uplatnění ve dvou závodech huti. Proto mezi další návrh a doporučení, jak snížit jejich množství, patří využití díky jejich měrnému povrchu.

Existují vědecké studie, ve kterých hutnické odprašky z různých aglomerací vykazovaly specifický měrný povrch $1,454 \text{ m}^2/\text{g}$ a po aktivaci byl měrný povrch téměř dvacetkrát větší, a to $28,344 \text{ m}^2/\text{g}$. V jiné experimentální práci neupravené vzorky odprašek zase vykazovaly měrný povrch $18,012 \text{ m}^2/\text{g}$ a po aktivaci došlo k úpravě specifického měrného povrchu na hodnotu $55,180 \text{ m}^2/\text{g}$.

Vhodnou volbou termické aktivace vybraných vzorků, respektive modifikace je možné z hutnických odprašek získat velmi zajímavé a účinné sorbenty, které najdou uplatnění při úniku ropných látek, dopravních nehodách. Dále mohou také posloužit jako sorbenty pohlcující nebezpečné látky z půd či z vodní hladiny.

10 ZÁVĚR

V celé diplomové práci bylo dosaženo předem stanovených hlavních a dílčích cílů, které ve své podstatě na sebe vzájemně navazují a tvoří tak zcela transparentní výstup.

Jedním z hlavních cílů diplomové práce bylo provést analýzy u dvou vybraných vzorků odprašků, které sací bagr v areálu ArcelorMittal Ostrava a.s. saje. Odprašky pocházejí ze zásobníku tkaninového filtru a elektrofiltru. Pomocí analýz jsem získal velmi přínosné informace o těchto vzorcích. První analýzou bylo zjištěno přesné zastoupení prvků obsažených v odprašcích. Po této analýze vzorky podstoupily další analýzu, která změřila jejich specifický měrný povrch sorpcí plynu, přesněji adsorpcí dusíku. Poslední analýzou jsem získal měrnou hmotnost odprašků.

V návaznosti na provedené analýzy bylo dalším a stěžejním úkolem této diplomové práce napsat návrhy a doporučení, jakými způsoby lze hutní odprašky využít a jak snížit jejich celkové množství. V minulosti docházelo k ukládání hutních materiálů, které byly klasifikovány jako odpad na skládky a dále už nebyly využívány, což společnost stálo náklady. V současné době je však velká část hutních odpadů navracena zpět do hutní výroby včetně odprašků. Možným využitím odprašků je proces briketace, kdy jsou v prachovém stavu převedeny do kusové formy, která umožňuje jejich další využití jakožto materiály sloužící k hutní výrobě. V rámci měření specificky měrného povrchu byly získány užitečné informace o vzorcích. Díky vhodně vybrané termické aktivaci je možno hutní odprašky využít jako sorbenty. Mohou sloužit jako sorbenty pro odstranění toxických a jiných nebezpečných látek ze životního prostředí, dále k ropným a jiným haváriím, úniku pohonných hmot, kyselin a dalších. Různé typy odprašků je potřeba podrobit dalším důkladnějším analýzám, které stanoví úspěšnost sorpce. Je nutno také zjistit, jestli poslouží spíše jako adsorbenty nebo jako absorbenty. Adsorbentem se rozumí pevná látka schopná vázat na svůj povrch látku v kapalném či plynném stavu a absorbentem je chápána látka schopná pohltnout jinou látku.

Naměřené hodnoty budou dále předány společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s., která s nimi naloží podle svého uvážení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MOSLER, Tomáš. ArcelorMittal Ostrava a.s. a ochrana životního prostředí. *Životní prostředí hutnictví železa a hutní druhovýroby*, 2007, s. 36-42. ISBN 978-80-248-1577-0.
- [2] O společnosti. *ArcelorMittal* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://ostrava.arcelormittal.com/o-spolecnosti/o-spolecnosti.aspx>
- [3] Nová etapa ekologizace. *ArcelorMittal* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://ostrava.arcelormittal.com/o-spolecnosti/nova-etapa-ekologizace.aspx>
- [4] Komunikace. *ArcelorMittal* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://ostrava.arcelormittal.com/o-spolecnosti/komunikace.aspx>
- [5] *Mapy* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=18.3281734&y=49.7922138&z=15&l=0>
- [6] Historie. *ArcelorMittal* [online]. 2012 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.novahut.cz/historie/>
- [7] Historie společnosti. *ArcelorMittal* [online]. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <http://ostrava.arcelormittal.com/o-spolecnosti/historie-spolecnosti.aspx>
- [8] PSOTA, Ivo. Radikální snížení emisí tuhých znečišťujících látek na spékacích páslech aglomerací Sever a Jih závodu Vysoké pece společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. *Životní prostředí hutnictví železa a hutní druhovýroby*, 2008, s. 121-126. ISBN 978-80-248-1817-7.
- [9] Huť ArcelorMittal Ostrava stlačila emise prachu na historické minimum. *ArcelorMittal* [online]. 2017 [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://www.nase-mesto.cz/hut-arcelormittal-ostrava-stlacila-emise-prachu-na-historicke-minimum/>
- [10] LAPČÍK, Vladimír. *Výrobní a environmentální technologie* [CD-ROM]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2009. ISBN 978-80-248-1960-0.
- [11] Hutní průmysl. *Vítejte na zemi* [online]. 2013 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=hutni_prumysl&site=spotreba
- [12] VALLERO, DANIEL A. Scales of the Air Pollution Problem. *Fundamentals of Air Pollution* [online]. Elsevier, 2008, s. 77-87 [cit. 2018-03-02]. DOI: 10.1016/B978-012373615-4/50004-2. ISBN 9780123736154. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123736154500042>

- [13] Co jsou emise. *Envic* [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://www.envic.cz/faq/ovzdusi/co-jsou-emise.htm>
- [14] GEUSS, Erik. Evropská legislativa a průmysl se zaměřením na IPPC. *Životní prostředí hutnictví železa a hutní druhovýroby*, 2008, s. 127-131. ISBN 978-80-248-1817-7.
- [15] Integrovaná prevence a omezování znečištění (IPPC). *EAGRI* [online]. 2018 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/zneisteni-zivotniho-prostredi/integrovana-prevence-a-omezovani/>
- [16] ŠLESINGER, Josef. Snížení emisí do ovzduší v průmyslové výrobě s ekonomickými efekty. *EIA – IPPC – SEA*, 2007, 12(4), s. 4-5. ISSN 1801-6901.
- [17] BÍLEK, Jiří. *Hodnocení vzájemných vztahů mezi parametry kvality venkovního ovzduší: Assessment of the interaction between the parameters of ambient air quality*: dizertační práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2015. 50 s. ISBN 978-80-248-3655-3.
- [18] KRČMÁŘOVÁ, Vendula. Ostravský region znovu zatěžuje průmyslová daň – znečištěné ovzduší. *Arnikum*, 2009, 3, s. 10. ISSN 2336-8403.
- [19] RAI, Prabhat K. Particulate Matter and Its Size Fractionation. *Biomagnetic Monitoring of Particulate Matter* [online]. Elsevier, 2016, s. 1-13 [cit. 2018-03-08]. DOI: 10.1016/B978-0-12-805135-1.00001-9. ISBN 9780128051351. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128051351000019>
- [20] MASIH, Jamson. Seasonal Variation and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Indoor and Outdoor Air in a Semi Arid Tract of Northern India. *Aerosol and Air Quality Research* [online]. 2012, 12, s. 515-525 [cit. 2018-03-01]. DOI: 10.4209/aaqr.2011.11.0192. ISSN 16808584. Dostupné z: http://www.aaqr.org/Doi.php?id=6_AAQR-11-11-OA-0192&v=12&i=4&m=8&y=2012
- [21] SÝKOROVÁ, Barbora, Marek KUCBEL a Konstantin RACLAVSKÝ. Composition of airborne particulate matter in the industrial area versus mountain area. *Perspectives in Science* [online]. 2016, 7, 369-372 [cit. 2018-03-08]. DOI: 10.1016/j.pisc.2015.12.006. ISSN 22130209. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221302091500107X>

- [22] SONG, Xiaoyan, Longyi SHAO, Qiming ZHENG a Shushen YANG. Mineralogical and geochemical composition of particulate matter (PM₁₀) in coal and non-coal industrial cities of Henan Province, North China. *Atmospheric Research* [online]. 2014, 143, s. 462-472 [cit. 2018-03-01]. DOI: 10.1016/j.atmosres.2014.03.015. ISSN 01698095. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169809514001392>
- [23] MORENO, Teresa, Xavier QUEROL, Andrés ALASTUEY, et al. Variations in atmospheric PM trace metal content in Spanish towns: Illustrating the chemical complexity of the inorganic urban aerosol cocktail. *Atmospheric Environment* [online]. 2006, 40(35), s. 6791-6803 [cit. 2018-03-01]. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2006.05.074. ISSN 13522310. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231006005668>
- [24] RAI, Prabhat K. Adverse Health Impacts of Particulate Matter. *Biomagnetic Monitoring of Particulate Matter* [online]. Elsevier, 2016, s. 15-39 [cit. 2018-03-01]. DOI: 10.1016/B978-0-12-805135-1.00002-0. ISBN 9780128051351. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128051351000020>
- [25] Polycyklické aromatické uhlovodíky. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/86>
- [26] MAUDERLY, Joe a Ron WYZGA. Health Assessment Aspects of Risk – and Results-Based Multipollutant Air Quality Management. HIDY, George M., Jeffrey R. BROOK, Kenneth L. DEMERJIAN, Luisa T. MOLINA, William T. PENNELL a Richard D. SCHEFFE, ed. *Technical Challenges of Multipollutant Air Quality Management* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011, 2011-7-29, s. 67-138 [cit. 2018-03-03]. DOI: 10.1007/978-94-007-0304-9_5. ISBN 978-94-007-0303-2. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-0304-9_5
- [27] ČABLÍK, Vladimír a Lucie ČABLÍKOVÁ, ed. *21st International Conference on Environment and Mineral Processing: VŠB-TU Ostrava, Czech Republic*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, 2017. s. 137-141. ISBN 978-80-248-4049-9.
- [28] VALLERO, Daniel. Inherent Properties of Air Pollutants. *Fundamentals of Air Pollution* [online]. Elsevier, 2014, s. 139-195 [cit. 2018-03-02]. DOI: 10.1016/B978-0-12-401733-7.00006-2. ISBN 9780124017337. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124017337000062>

- [29] VALLERO, Daniel. The Nitrogen and Sulfur Cycles. *Fundamentals of Air Pollution* [online]. Elsevier, 2014, s. 519-529 [cit. 2018-03-03]. DOI: 10.1016/B978-0-12-401733-7.00022-0. ISBN 9780124017337. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124017337000220>
- [30] SALVADOR, Pedro. Ozone, SO_x and NO_x, Particulate Matter, and Urban Air. *Encyclopedia of the Anthropocene* [online]. Elsevier, 2018, s. 7-21 [cit. 2018-03-06]. DOI: 10.1016/B978-0-12-809665-9.09975-4. ISBN 9780128135761. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128096659099754>
- [31] Oxidy dusíku. *Arnika* [online]. 2014 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://arnika.org/oxidy-dusiku>
- [32] ANDREOVSKÝ, Jan, HENELOVÁ, Vladimíra, ed. *Příručka ochrany kvality ovzduší*. Praha: Sdružení společností IREAS centrum, 2013, s. 63. ISBN 978-80-86832-77-7.
- [33] ROGER D. GRIFFIN. *Principles of air quality mangagement*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC/Taylor & Francis, 2007, s. 27. ISBN 9781420006544.
- [34] TOMAN, Vladimír. Problémy skleníkových plynů v hutnictví ČR. *EIA – IPPC – SEA*, 2006, 11(1), s. 2-5. ISSN 1801-6901.
- [35] BENCKO, Vladimír, Jaroslav LENER a Miroslav CIKRT. *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. 2. přepracované a doplněné vyd., v Grada Publishing 1. vyd. Praha: Grada, 1995. ISBN 80-7169-150-X.
- [36] Rtuť. *Arnika* [online]. 2014 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <http://arnika.org/mercury>
- [37] ZANG, Y. Cadmium: Toxicology. *Encyclopedia of Food and Health* [online]. Elsevier, 2016, s. 550-555 [cit. 2018-03-11]. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00097-0. ISBN 9780123849533. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123849472000970>
- [38] VALLERO, Daniel. Neurological Effects of Air Pollutants. *Fundamentals of Air Pollution* [online]. Elsevier, 2014, 2014, s. 327-340 [cit. 2018-03-11]. DOI: 10.1016/B978-0-12-401733-7.00013-X. ISBN 9780124017337. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978012401733700013X>

- [39] *Atlas životního prostředí Moravskoslezského kraje*. 2. vyd. Ostrava: Moravskoslezský kraj, Krajský úřad, 2014. ISBN 978-80-87503-37-9.
- [40] MADEJ, Dalibor a Vítězslav DOBEŠ. Zjišťování vybraných škodlivin ve vnějším prostředí na území města Ostravy ve vztahu k hutnictví. *Životní prostředí hutnictví železa a hutní průmyslu*, 2007, s. 67-72. ISBN 978-80-248-1577-0.
- [41] OBROUČKA, Karel. *Ochrana ovzduší I.: (zdroje a látky znečišťující ovzduší)*. Ostrava: Vysoká škola podnikání, 2003. ISBN 80-86764-00-1.
- [42] Zákon č. 201/2012 Sb. *Zákony pro lidi* [online]. 2018 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [43] News release. *ArcelorMittal Ostrava a.s.* [online]. 2016 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://ostrava.arcelormittal.com/pdf/24-03-2016.pdf>
- [44] REZZO (1–4). *Čisté nebe* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/147-rezzo-1-4>
- [45] MAČALA, Jozef a Vladimír SMRŽ. *Modul 5: Ochrana ovzduší*. Environmentální vzdělávání. VŠB – TU Ostrava, 2006.
- [46] Atmosféra jako složka životního prostředí. *Klimatologie a hydrogeografie* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pdf/ps14/fyz_geogr/web/pages/06-ziv-prostredi.html
- [47] Látky znečišťující ovzduší. *Arnika* [online]. 2014 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://arnika.org/látky-znečišťující-ovzduší>
- [48] HERČÍK, Miroslav a Vojtech DIRNER. *Modul 1: Ochrana životního prostředí*. Environmentální vzdělávání. VŠB – TU Ostrava, 2007.
- [49] Krajský integrovaný program ke zlepšení kvality ovzduší Moravskoslezského kraje. *Moravskoslezský kraj* [online]. 2012 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://iszp.msk.cz/assets/ovzdusi/Koncepce/aktualizace-pzko-2012.pdf>
- [50] JANČÍK, Petr, Jan BITTA a Irena PAVLÍKOVÁ. Vliv zdrojů společnosti Arcelormittal Ostrava a.s. na imisní situaci v městském obvodu Radvanice a Bartovice. *Životní prostředí hutnictví železa a hutní průmyslu*, 2008, s. 41-50. ISBN 978-80-248-1817-7.

- [51] HERČÍK, Miloslav. *Životní prostředí: základy environmentalistiky*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1073-5.
- [52] TKÁČ, Adam. *Analýza možností využití odpadního filtračního materiálu vznikajícího při výrobě piva*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. VŠB – TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut environmentálního inženýrství.
- [53] Vyhláška č. 93/2016 Sb. *Zákony pro lidi* [online]. 2018 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-93>
- [54] BENEŠ, Bohumil. *Odpadové hospodářství*. Praha: Dashöfer, 2001-. ISBN 80-86229-33-5. ISSN 1801-7827.
- [55] JUCHELKOVÁ, Dagmar. *Odpady, vedlejší produkty a nakládání s nimi*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0753-x.
- [56] RAO, M.N., Razia SULTANA a Sri Harsha KOTA. Hazardous Waste. *Solid and Hazardous Waste Management* [online]. Elsevier, 2017, s. 159-207 [cit. 2018-03-16]. DOI: 10.1016/B978-0-12-809734-2.00005-5. ISBN 9780128097342. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128097342000055>
- [57] News release. *ArcelorMittal Ostrava a.s.* [online]. 2011 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: https://ostrava.arcelormittal.com/pdf/150_1_cz.pdf
- [58] *Autoidnes* [online]. [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: https://auto.idnes.cz/foto.aspx?r=automoto&c=A110203_145640_automoto_fdv&foto=FDV38ec58_Kopie_IMG_3137.JPG
- [59] *Struska* [online]. 2008 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <http://www.strusky.cz>
- [60] RAMACHANDRA RAO, S. Metallurgical Slags, Dust and Fumes. *Resource Recovery and Recycling from Metallurgical Wastes* [online]. Elsevier, 2006, s. 269-327 [cit. 2018-02-21]. Waste Management Series. DOI: 10.1016/S0713-2743(06)80093-0. ISBN 9780080451312. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0713274306800930>
- [61] BOTULA, Jiří. *Recyklace odpadů kovových a kovonosných*. Ostrava: VŠB Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0495-6.

- [62] VIDLÁŘ, Jiří, Zdeňka RŮŽIČKOVÁ a Jaroslav SRB. *Úprava druhotných surovin*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1985.
- [63] BROŽ, Ludvík. *Hutnictví železa*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1988. ISBN 04-405-88.
- [64] KUCHAR, Lumír. *Hutnictví neželezných kovů*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1987.
- [65] KALOČ, Miroslav, Ludvík BROŽ a Ján KRET. *Hutnictví železa I*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1986
- [66] NETINGER GRUBEŠA, Ivanka, Ivana BARIŠIĆ, Aleksandra FUCIC a Samitinjay S. BANSODE. Applications of steel slag in civil engineering. *Characteristics and Uses of Steel Slag in Building Construction* [online]. Elsevier, 2016, s. 67-82 [cit. 2018-02-21]. DOI: 10.1016/B978-0-08-100368-8.00005-1. ISBN 9780081003688. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081003688000051>
- [67] WANG, George C. Case studies on slag utilization. *The Utilization of Slag in Civil Infrastructure Construction* [online]. Elsevier, 2016, 2016, s. 339-370 [cit. 2018-02-21]. DOI: 10.1016/B978-0-08-100381-7.00014-8. ISBN 9780081009949. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081003817000148>
- [68] WANG, George C. Slag use as an aggregate in concrete and cement-based materials. *The Utilization of Slag in Civil Infrastructure Construction* [online]. Elsevier, 2016, s. 239-274 [cit. 2018-02-21]. DOI: 10.1016/B978-0-08-100381-7.00011-2. ISBN 9780081009949. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081003817000112>
- [69] LAPČÍK, Vladimír. *Průmyslové technologie a jejich vliv na životní prostředí*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2015-6.
- [70] PLAČEK, Vladimír. Požadavky na vysokopecní a ocelářskou strusku z hlediska využití ve stavebnictví. In *Možnosti zpracování odpadů po důlní a metalurgické činnosti*. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TU, 2005. ISBN 80-248-0949-4
- [71] HLAVATÁ, Miluše. *Odpadové hospodářství. 1. vyd.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2004. ISBN 97880248073792007.

- [72] FEČKO, Peter, Mária KUŠNIEROVÁ, Barbora LYČKOVÁ, Vladimír ČABLÍK a Adriana FARKAŠOVÁ. *Popílky*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0327-5.
- [73] EDITED BY KENNETH S. SAJWAN, ASHOK K. ALVA a ROBERT F. KEEFER. *Chemistry of Trace Elements in Fly Ash*. Boston, MA: Springer US, 2003. s.275-288. ISBN 9781475747577.
- [74] Popílek. *ČEZ energetické produkty* [online]. 2017 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <http://www.cezep.cz/cs/vedlejsi-energeticke-produkty/popilek>
- [75] KLIMENT, Josef. *Saze*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, c2007. 179 s. ISBN 9788002020042.
- [76] ŠUTA, Miroslav. UNEP pro ochranu klimatu: Omezte emise sazí a prekurzorů ozónu, *Ekofutura*, 2012, 3, s. 15-16. ISSN 1805-3319.
- [77] News release: Dalších sto milionů proti prachu. *ArcelorMittal Ostrava a.s* [online]. 2014 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: https://ostrava.arcelormittal.com/pdf/300_cz.pdf
- [78] ArcelorMittal zahájil zkušební provoz nových tkaninových filtrů. *Tretiruka* [online]. 2015 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.tretiruka.cz/news/arcelormittal-zahajil-zkusebni-provoz-novych-tkaninovych-filtru/>
- [79] Technologie, kterými odprašujeme. *ArcelorMittal* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://ostrava.arcelormittal.com/firemni-odpovednost/odpraseni.aspx>
- [80] Elektrické odlučovače. *Depuro* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.depuro.cz/elektrickeacute-odlu269ova269e.html>
- [81] Zpráva o udržitelnosti 2016. *ArcelorMittal* [online]. 2016 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://ostrava.arcelormittal.com/pdf/Zprava-o-udrzitelnosti-za-rok-2016.pdf>
- [82] Jak fungují elektrostatické filtry. *Steiger* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://steigereng.cz/Resources/Upload/Home/filtrace/dokumenty/jak-funguji-elektrostaticke-filtry.pdf>
- [83] Metodika. *Rentgeno-fluorescenční spektrometr S8 TIGER firmy Bruker* VŠB-TUO.

- [84] PECHOUŠEK, Jiří. *Měření plochy povrchu pevných látek a určování jejich porozity metodou sorpce plynu*. Olomouc. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky.
- [85] STEFANIAK, Wojciech, Jacek GOWOREK a Bogdan BILIŃSKI. Pore size analysis by nitrogen adsorption and thermal desorption. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [online]. 2003, 214(1-3), 231-237 [cit. 2016-12-05]. DOI: 10.1016/S0927-7757(02)00413-2. ISSN 09277757. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775702004132>
- [86] PÁTÝ, Libor. *Fyzika nízkých tlaků*: vysokoškolská učebnice. Praha: Academia, 1968.
- [87] ROUQUEROL, Françoise, Jean ROUQUEROL a Kenneth SING. Properties of Some Novel Adsorbents. *Adsorption by Powders and Porous Solids* [online]. Elsevier, 1999, s. 401-438 [cit. 2018-04-04]. DOI: 10.1016/B978-012598920-6/50013-0. ISBN 9780125989206. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780125989206500130>
- [88] RAVIKOVITCH, Peter I. a Alexander V. NEIMARK. Characterization of nanoporous materials from adsorption and desorption isotherms. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2001, 187-188, 11-21. DOI: 10.1016/S0927-7757(01)00614-8. ISSN 09277757. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775701006148>
- [89] SING, Kenneth. The use of nitrogen adsorption for the characterisation of porous materials. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [online]. 2001, 187-188, 3-9 [cit. 2016-12-05]. DOI: 10.1016/S0927-7757(01)00612-4. ISSN 09277757. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927775701006124>
- [90] *Stanovení hustoty pyknometrickou metodou* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: https://www.vfu.cz/vyzkum-vyvoj/strategie-a-rozvoj/iva-vfu-brno/3130_71_zeman_01-stanoveni-hustoty-pyknometrickou-metodou.pdf
- [91] Pyknometr. *Laboratorní technika* [online]. 2008 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wchem/sm/hc/labtech/pages/pyknometr.html>

Adam Tkáč: Možnosti aplikace sacího bagru při sání, vyfukování a transportu suchých, tekutých a nebezpečných látek v praxi

[92] KURSA, Miroslav, Tomáš KÁRNÍK, Dana KRIŠTOFOVÁ, Juraj LEŠKO, Jan KRET a Jiří BOTULA. *Možnosti odstranění neželezných kovů z jemnozrnných hutních odpadů*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Dostupné také z: <http://konference.tanger.cz/data/metal2000/sbornik/papers/633.pdf>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: ArcelorMittal Ostrava a.s. [5]	4
Obrázek 2: Výstavba koksovny v roce 1951 [7].....	5
Obrázek 3: Pohled na ArcelorMittal Ostrava a.s. [9]	7
Obrázek 4: Původci znečištění ovzduší na Ostravsku [41].....	13
Obrázek 5: Nový tkaninový filtr na jižní části aglomerace [43].....	14
Obrázek 6: Schéma znečištění ovzduší [46]	16
Obrázek 7: Sací bagr GapVAX 9000 [58].....	20
Obrázek 8: Čelní výklopník před investicí [78].....	29
Obrázek 9: Tkaninový filtr u výklopníku čelního po investici [78]	29
Obrázek 10: Rotorový výklopník před investicí [78]	30
Obrázek 11: Tkaninový filtr u rotorového výklopníku po investici [78]	30
Obrázek 12: Speciální hadice zachycující prachové částice [80]	31
Obrázek 13: Proces elektrického odlučování [80]	32
Obrázek 14: Princip tkaninového filtru [81].....	34
Obrázek 15: Princip elektrofiltru-elektrického odlučovače [82]	34
Obrázek 16: Adsorpce molekul plynu na povrchu pevné látky [84]	37
Obrázek 17: Proces tvorby mono-a multivrstvy s tzv. kapilární kondenzací v pórech [84]....	38
Obrázek 18: Brunauer, Emmett a Teller v roce 1969 na Clarkson University [84]	41
Obrázek 19: Princip volumetrické metody: 1 – měrný vzorek, 2 – Dewarova nádoba s kapalným dusíkem, 3 – připojení vakuového systému, 4 – tlakoměr a 5 – kalibrovaný objem [84].....	42
Obrázek 20: Homogenizace vzorku v achátové třecí misce [Foto autor: Tkáč, 2018].....	44
Obrázek 21: Lisovací zařízení spolu s hydraulickým lisem Maassen [Foto autor: Tkáč, 2018]	45

Obrázek 22: Tablety tkaninového filtru a elektrofiltru [Foto autor: Tkáč, 2018].....	45
Obrázek 23: Spektrometr S8 Tiger [Foto autor: Tkáč, 2018]	46
Obrázek 24: Porozimetr Autosorb IQ [Foto autor: Tkáč, 2018].....	47
Obrázek 25: Pyknometr [91].....	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Chemické složení strusek [61]; [62]	24
Tabulka 2: Zastoupení matričních prvků [Zdroj: Vlastní zpracování]	49
Tabulka 3: Zastoupení stopových prvků [Zdroj: Vlastní zpracování]	49

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vývoj emisí tuhých znečišťujících látek [82]	33
Graf 2: Matriční prvky u odprašku z tkaninového filtru a elektrofiltru [Zdroj: Vlastní zpracování].....	50
Graf 3: Stopové prvky u odprašku z tkaninového filtru a elektrofiltru [Zdroj: Vlastní zpracování].....	51
Graf 4: Výsledné hodnoty specifického měrného povrchu vzorků odprašků [Zdroj: Vlastní zpracování].....	52
Graf 5: Měrný povrch obou odprašků [Zdroj: Vlastní zpracování].....	52

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BAT – Nejlepší dostupné techniky

BET – Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett a Edward Teller

CPIT – Centrum pokročilých inovačních technologií

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ICT – Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin

IPPC – Integrovaná prevence a omezování znečištění

NHKG – Nová huť Klementa Gottwalda

REZZO – Registr emisí a zdrojů znečištění ovzduší

XRF – Rentgenová fluorescence

ŽP – Životní prostředí